



**Carlos Daniel
Silva Oleiro**

**Desenvolvimento de mobilidade elétrica de duas
rodas**



**Carlos Daniel
Silva Oleiro**

**Desenvolvimento de mobilidade elétrica de duas
rodas**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob orientação científica de António Manuel de Amaral Monteiro Ramos, Professor Auxiliar, e de Carlos Alberto Moura Relvas, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica.

o júri / the jury

presidente / president

Prof. Doutora Margarida Isabel Cabrita Marques Coelho

Professora Auxiliar da Universidade de Aveiro

Doutor Pedro Miguel Soares Ferreira

Professor Adjunto do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra

Prof. Doutor António Manuel de Amaral Monteiro Ramos

Professor Auxiliar da Universidade de Aveiro (orientador)

**agradecimentos /
acknowledgements**

À minha família, principalmente aos meus pais e irmã, pela oportunidade que me deram e pelo apoio prestado nestes anos. Agradeço também aos meus amigos e colegas de curso pelo apoio mútuo ao longo desta jornada, e pelas experiências por nós vividas que marcaram estes últimos anos.

Palavras-chave

Mobilidade citadina; Motociclo elétrico; Veículo elétrico; Desenvolvimento do produto;

Resumo

A mobilidade é uma área em constante mudança, nos próximos tempos vai mudar mais que nunca devido a causas ambientais e ecológicas, sendo cada vez mais procuradas soluções para uma mobilidade mais eficiente e eficaz. O principal alvo de mudança no futuro será a mobilidade citadina, uma vez que são os centros urbanos os locais mais afetados pelo congestionamento e poluição dos transportes devido à elevada densidade populacional. Nesta dissertação procura-se uma solução para este problema com o desenvolvimento de um motociclo elétrico de utilização citadina, que substitua veículos menos eficientes em cidade. Para o desenvolvimento deste motociclo começa-se pelo estudo do público alvo, definindo os requisitos e as especificações com o auxílio de ferramentas como o modelo de Kano e as matrizes de *Quality Function Deployment* (QFD), permitindo a elaboração do conceito a desenvolver. Tendo sempre em conta os concorrentes no mercado atual, tentando colmatar as desvantagens de alguns conceitos já definidos, assim como aproveitar as vantagens dos mesmos. Com o conceito definido, o modelo de detalhe pode ser criado utilizando ferramentas de CAD, passando a idealização do motociclo de um conceito em papel para um modelo tri-dimensional em formato digital. Sendo realizados alguns estudos estruturais de modo a verificar a resistência dos principais componentes em algumas situações críticas de utilização. Após a modelação do motociclo e os respetivos estudos estruturais, obteve-se um modelo que cumpria com os objetivos inicialmente propostos, não possuindo grandes desvantagens em relação aos seus concorrentes de mercado. Tendo-se obtido um motociclo de baixa potência e autonomia, mas que realiza as suas funções de deslocação citadina de forma eficiente e eficaz, sendo simultaneamente um veículo de visual moderno e simplista, pois estes eram requisitos estabelecidos no estudo de mercado.

Keywords

Citadine mobility; Electric motorcycle; Electric vehicle; Product development;

Abstract

Mobility is a subject changing constantly, in a near future it will change more than ever due to ambiental and ecological problems, making the demand of efficient and clean solutions increase drastically. The main target to change is the way we use transports in urban areas, because these are the places where people are most affected by traffic jams and traffic pollution, mainly due to high population density. The focus of this thesis is finding a solution to this problem with the development of a citadine electric motorcycle that can replace inefficient vehicles commonly found on today's cities. The first step to the development of this motorcycle is the study of the selected target public, defining the requisites and specifications with the support of tools like the Kano model and the Quality Function Deployment matrixes, allowing the accomplishment of the concept to be developed. Considering the concept's rivals in the current market, trying to correct the disadvantages of some concepts already defined, but using the advantages of this models as well. With the concept defined, the detailed model can be made using CAD tools, going from an idealization on paper to a tri-dimensional digital model. Being accomplished some structural studies in order to verify the resistance of the main components in the most critical situations of the product's operation. After the modeling of the motorcycle and the respective structural studies, it was obtained a model that fulfilled the main goals established, having few disadvantages when comparing it with it's market competitors. Ending up with a low power and autonomy motorcycle that is able to complete the citadine transportation in an efficient and effective way, being simultaneously a vehicle with a simple and modern look, because this were requirements established previously in the market study.

Conteúdo

Nomenclatura	vii
1 Estado da arte	5
1.1 Mobilidade urbana	5
1.2 Evolução das motorizações elétricas	6
1.3 Veículos de duas rodas	8
1.4 Conceitos motociclísticos	9
2 Desenvolvimento do conceito	11
2.1 Público alvo	11
2.1.1 Deslocações estritamente citadinas	11
2.1.2 Deslocações utilitárias de média distância	12
2.1.3 Micromobilidade	13
2.1.4 Público alvo selecionado	13
2.2 Modelo de Kano	14
2.3 QFD - <i>Quality Function Deployment</i>	16
2.3.1 Especificações do veículo a desenvolver	16
2.3.2 Produtos concorrentes	16
2.3.3 Matriz da qualidade	18
2.3.4 Matriz do produto	20
2.3.5 Considerações finais	21
2.4 Idealização do conceito	22
2.4.1 Localização do motor	23
2.4.2 Localização das baterias	23
2.4.3 Localização dos arrumos	24
2.4.4 Apoio roda traseira	24
2.5 Primeiros <i>Sketchs</i>	25
2.6 FMEA conceito	26
3 Modelo de detalhe	29
3.1 Medidas características	29
3.1.1 Ângulo da coluna de direção e rasto	30
3.1.2 Distância entre eixos	30
3.1.3 Altura do assento	30
3.1.4 Distância ao solo	31

3.2	Primeiro modelo em CAD	31
3.3	Segunda iteração do modelo	32
3.4	Estudo da modelação do selim	35
3.5	Estudo do tipo de suspensão a utilizar	37
3.6	<i>Design</i> Funcional	38
3.6.1	Compartimento de arrumação do capacete	38
3.6.2	<i>Design</i> funcional nas baterias	42
3.7	Análise ergonómica	43
4	Estudo estrutural	47
4.1	Materiais	48
4.2	Travagem intensa	50
4.3	Aceleração intensa	52
4.3.1	Primeiro modelo	55
4.3.2	Segundo modelo	56
4.3.3	Terceiro modelo	57
4.4	Ensaio dos apoios dos pés	58
4.4.1	Primeiro modelo	58
4.4.2	Segundo modelo	59
4.5	Acoplamento do braço oscilante	60
5	Proposta final	65
5.1	Modelo final	65
5.2	Listagem de componentes	69
5.2.1	Suspensão frontal	69
5.2.2	Suspensão traseira	69
5.2.3	Sistema propulsor	69
5.3	Componentes originais	71
5.3.1	Quadro	71
5.3.2	Braço oscilante	72
6	Conclusão	75
6.1	Trabalhos futuros	75
	Bibliografia	75
A	Matrizes QFD	81
B	Desenhos	85

Lista de Tabelas

2.1	Classificação dos requisitos do produto segundo o modelo de <i>Kano</i>	15
2.2	Especificações do veículo a introduzir na matriz QFD.	16
2.3	FMEA do conceito.	26

Lista de Figuras

1.1	Carro elétrico construído no início do século 20 [9].	6
1.2	<i>Tesla Model S</i> [10].	7
1.3	<i>Nissan Leaf</i> [11].	8
1.4	<i>Peugeot Scoot' Elec</i> [12].	9
1.5	Modelo exemplar de <i>supermoto</i> (<i>Husqvarna 701</i>) [13].	10
2.1	<i>KTM Delta concept</i> [14].	11
2.2	<i>Zero S</i> [15].	12
2.3	<i>Skoda Klement</i> [16].	13
2.4	Ilustração do modelo de <i>Kano</i>	14
2.5	<i>Honda 125i</i> 2019 [17].	17
2.6	<i>Super Soco TC</i> 2019 [18].	17
2.7	Peso relativo dos requisitos do cliente.	18
2.8	Características de qualidade iniciais e finais.	19
2.9	Peso relativo dos componentes.	20
2.10	Motociclo com motor no quadro à direita e outro com motor no cubo traseiro à esquerda [15] [18].	23
2.11	Exemplo de um motociclo equipado com escora de um apoio [19].	24
2.12	<i>Sketch</i> inicial do motociclo.	25
2.13	Vista lateral do conceito.	25
3.1	Esquema das medidas importantes no motociclo [25].	29
3.2	Primeiro desenho na forma digital.	31
3.3	Segunda iteração do conceito em CAD.	32
3.4	Vista posterior da segunda iteração do modelo em CAD.	33
3.5	Vista lateral da segunda iteração do modelo em CAD.	34
3.6	Quadro da segunda iteração do conceito.	34
3.7	Diferentes versões do selim do motociclo.	35
3.8	Vista lateral do modelo alternativo.	36
3.9	Estilo de selim selecionado.	37
3.10	Compartimento para o capacete.	38
3.11	Compartimento para o capacete em vista de corte.	39
3.12	Compartimento para o capacete em vista de corte.	40
3.13	Compartimento para o capacete em vista de corte.	41
3.14	Compartimento para o capacete em vista de corte.	41
3.15	Aperto superior da estrutura das baterias.	42
3.16	Vista em corte do encaixe inferior da estrutura das baterias.	42
3.17	Dimensões, em milímetros, do <i>dummy</i> utilizado.	43

3.18	Posição de utilização do motociclo.	44
3.19	Renderização do motociclo com o <i>dummy</i> na posição de condução.	45
3.20	<i>Dummy</i> ao lado do motociclo para perspetiva de escala.	46
4.1	Forças aplicadas durante a travagem.	50
4.2	Tensão no quadro aquando a travagem.	51
4.3	Tensão no quadro aquando a travagem.	52
4.4	Esquema do binário aplicado à roda traseira.	53
4.5	Forças aplicadas no veículo durante a aceleração.	54
4.6	Resultados da simulação durante a aceleração.	55
4.7	Resultados da segunda simulação durante a aceleração.	56
4.8	Resultados da segunda simulação durante a aceleração.	57
4.9	Resultados da terceira simulação durante a aceleração.	57
4.10	Forças aplicadas nos apoios dos pés.	58
4.11	Primeiro ensaio dos apoios dos pés.	59
4.12	Segundo ensaio dos apoios dos pés.	59
4.13	Dimensões entre eixos e forças aplicadas no braço oscilante.	60
4.14	Dimensões entre eixos e forças aplicadas no eixo de acoplamento do braço oscilante.	61
4.15	Força transversal e momento fletor ao longo do veio (força em N e momento em $N \cdot mm$).	62
4.16	Representação do casquilho a utilizar em vista de corte.	64
4.17	Vista explodida do sistema de acoplamento do braço oscilante.	64
5.1	Modelo final: vista lateral.	65
5.2	<i>Design</i> final do farol dianteiro.	66
5.3	Vista posterior do motociclo.	67
5.4	Dimensões gerais do motociclo.	68
5.5	Honda CB125R Neo Sports Café. [20]	69
5.6	Jante com motor eléctrico no cubo. [21]	70
5.7	Quadro do motociclo.	71
5.8	Localização das principais soldaduras na construção do quadro.	72
5.9	Braço oscilante do motociclo.	73

Nomenclatura

CAD - *Computer Assisted Design*

CNC - Comando Numérico Computorizado

DFA - *Design for Assembly*

FMEA - *Failure Mode and Effects Analysis*

MCI - Motor de Combustão Interna

QFD - *Quality Function Deployment*

SUV - *Service Utility Vehicle*

Contextualização

Introdução

Nos dias de hoje, procuram-se novos tipos de mobilidade, principalmente devido às necessidades ecológicas da sociedade. Com um passado repleto de utilização de combustíveis fósseis, a mobilidade dependente destes está obsoleta, pois os motores de combustão interna (MCI) já estão a atingir os patamares máximos de eficiência possíveis de obter para este tipo de motorização.

Nas últimas décadas houve uma evolução estupenda dos motores de combustão interna com a introdução de uma tecnologia de aproveitamento de gases: o turbo-compressor. Com esta tecnologia os MCI passaram por um fenómeno denominado de *downsizing* que consistiu em diminuir a cilindrada dos motores com a utilização de um turbo-compressor, o que levou a grandes aumentos de eficiência mantendo ou até mesmo aumentando a potência dos mesmos. No entanto, no que toca ao nível das emissões de dióxido de carbono as reduções foram diminutas, pois, mesmo passando a sociedade a utilizar motores mais eficientes, o número de veículos em utilização também aumentou, quase que equilibrando as emissões [1].

Cabe então ao ramo da engenharia procurar novas soluções que substituam a utilização dos combustíveis fósseis com a utilização de motorizações elétricas, mantendo sempre reunidas as condições de conforto e segurança para os seus utilizadores. A utilização de motorizações elétricas não é um tema recente, no entanto, está cada vez mais a ser introduzido na sociedade, sendo a solução que apresenta mais oportunidades de uma locomoção económica e limpa. De todas as possibilidades de aplicação de mobilidade elétrica, a utilização citadina mostra-se a mais capaz para a tecnologia elétrica contemporânea. Isto porque requer baixas autonomias, devido às curtas distâncias percorridas pelo utilizador num ambiente urbano. Onde as deslocações se resumem a viagens entre casa e trabalho, ou outras atividades na periferia da cidade. A autonomia de um veículo é uma das características mais importantes, pois indica o tipo de deslocações possíveis de realizar e se são necessárias pausas para reabastecer numa determinada viagem. Nos veículos elétricos, a autonomia revela-se ainda mais importante, pois o tempo de reabastecimento destes é muito mais demorado e de difícil acesso quando comparado com um abastecimento de um veículo com um MCI. Num veículo elétrico as viagens estão muito mais limitadas que num veículo com um motor de combustão, sendo o tempo de carregamento de um motociclo elétrico de 35 kW entre 5 a 12 horas com equipamento comum, ou entre 1,5 a 3 horas com acessórios de carregamento (carregamento rápido de 95% da carga total) [2].

Como se pode concluir, as viagens requerem uma utilização mais inteligente do armazenamento de energia quando se utiliza um veículo elétrico, sendo que normalmente

as viagens estão limitadas pela autonomia de um carregamento. A autonomia de um veículo elétrico é afetada, principalmente, por dois grandes fatores: a potência dos motores instalados e o tamanho das baterias. A potência elétrica dos motores instalados num veículo está diretamente ligada com o consumo energético do mesmo. Potências mais elevadas reduzem a autonomia das baterias devido a um maior consumo energético quando comparada com motores de potências mais baixas. Sendo esta uma das razões pela qual a utilização citadina de motorizações elétricas é relevante. Um ambiente urbano não requer elevadas potências, pois não se atingem grandes velocidades neste meio. Daí ser tão popular nos dias de hoje a utilização de ciclomotores, *scooters*, nas cidades. Quanto ao tamanho das baterias, esta indica-nos, obviamente, a quantidade de energia disponível para a locomoção do veículo, no entanto, é uma característica que também requer muito mais atenção num veículo de motorização elétrica. Isto principalmente devido à extremamente reduzida densidade energética das baterias dos dias de hoje quando comparada aos combustíveis fósseis. As baterias de íões de lítio são as mais comuns nos veículos elétricos, exibindo elevados valores de energia específica dentro daquelas que podem ser utilizadas em veículos, assim como um elevado número de ciclos de carregamento. No entanto, esta densidade é bastante inferior aos combustíveis fósseis comuns como a gasolina, o gasóleo ou o GPL propano. Posto isto, é visível que a autonomia dimensionada para um veículo elétrico terá muita influência no seu peso, e vice-versa, o peso máximo dimensionado para um veículo elétrico limitará muito a autonomia máxima. Novamente, observa-se que as motorizações elétricas se adequam à utilização citadina, não sendo requeridas grandes autonomias mas baixos pesos para fácil e ágil manuseamento.

Mesmo que a forma de acumulação de energia seja muito menos eficiente num veículo elétrico no que toca à utilização de espaço, devido à baixa energia específica das baterias, este apresenta uma vantagem no que toca ao motor. Um motor elétrico consegue transformar entre 85 a 90% da energia a este cedido em trabalho [3]. Enquanto um motor de combustão interna consegue apenas converter cerca de 30 a 35%, sendo que o MCI com maior eficiência energética foi um motor utilizado na temporada de 2018 na Fórmula 1, com uma eficiência energética próxima de 50% [4].

A eficiência global de um veículo elétrico aumenta bastante numa utilização urbana devido às diferenças de como a energia é despendida e aproveitada quando comparado com um veículo equipado com um MCI. Em qualquer veículo há dois principais atritos que retiram energia ao veículo: atrito de rolamento e atrito aerodinâmico. O atrito de rolamento apresenta valores apenas relevantes a baixas velocidades, pois mantém-se quase constante com a alteração de velocidade. Por outro lado, o atrito aerodinâmico aumenta exponencialmente com a velocidade, o que leva a grandes níveis de atrito a elevadas velocidades. Num ambiente urbano, como as velocidades são baixas, o fator que retira energia aos veículos é, principalmente, as travagens realizadas pelo condutor. Travagens estas que têm aproveitamento de energia nos veículos elétricos, daí estes apresentarem maior autonomia em cidade do que em autoestrada, pois em autoestrada a energia é despendida principalmente devido ao atrito aerodinâmico, pois as velocidades são muito superiores do que numa utilização citadina. Novamente as motorizações elétricas mostram-se ideais para utilização citadina.

A utilização excessiva dos veículos de 4 rodas nas cidades também contribui para a procura de novas soluções de locomoção urbana. Hoje em dia é muito comum ver pessoas a deslocarem-se nas cidades em SUVs citadinos, maioritariamente equipados apenas com

motores de combustão, o que é muito negativo do ponto de vista ecológico. O transporte de uma única pessoa em pequenas distâncias urbanas num veículo de duas toneladas é irrisório quando se tem a tecnologia para opções muito melhores, como um motociclo elétrico por exemplo. Com um veículo deste tipo as deslocações citadinas fazem-se de forma eficiente e ecológica.

Dentro da categoria dos veículos elétricos, a escolha de um motociclo sobre um veículo de quatro rodas é justificada por vários fatores. Primeiramente, porque a função do veículo a desenvolver consiste apenas em deslocações urbanas, querendo isto dizer, que pode não ser o veículo primário de um indivíduo, mas apenas o seu meio de deslocação para o trabalho. Pois um motociclo é mais barato, quer de comprar quer de manter, que os seus substitutos de quatro rodas. Tendo tudo o que é necessário para o tipo de deslocações em questão. No que toca a questões meteorológicas, nada muda relativamente à discussão entre possuir um motociclo comum. Não são veículos para serem utilizados 365 dias por ano, mesmo que seja possível fazê-lo, nem todos os cidadãos estão dispostos a tal exposição às condições climáticas. No entanto, em países como Portugal onde o número de dias de sol é extremamente elevado, este fator torna-se menos relevante.

Objetivo do trabalho

Cabe ao ramo da engenharia procurar soluções de locomoção ecológica num ambiente urbano, de modo a disponibilizar veículos sem emissões locais capazes de realizar as locomoções necessárias em cidade. Assim, o objetivo deste trabalho consiste, primeiramente, em selecionar um público alvo de modo a haver foco nos parâmetros mais importantes, prosseguindo para o desenvolvimento de um veículo de duas rodas com motorização elétrica. O objetivo deste veículo é proporcionar um meio de transporte com zero emissões locais a uma porção da sociedade que iria beneficiar a utilização deste num ambiente citadino. Reduzindo assim a totalidade de emissões de dióxido de carbono nas cidades e proporcionar à sociedade soluções mais apropriadas para deslocações urbanas.

O veículo mais comum da sociedade é o carro equipado com um MCI, que não é de modo algum o ideal para deslocações de pequenas distâncias em cidade. As características deste, apresentam inúmeras desvantagens quando comparado com uma motorização elétrica, nomeadamente a baixa eficiência em meios urbanos e as emissões de dióxido de carbono. Para além do facto que são muitas vezes utilizados para o transporte de uma única pessoa. Com a substituição de parte destes veículos por motociclos elétricos, conseguir-se-ia diminuir o trânsito nos centros urbanos atenuando o ambiente caótico causado pelo uso excessivo de veículos de quatro rodas. Estando aqui presente uma outra vantagem da utilização de veículos de duas rodas. Mesmo não sendo o principal objetivo da dissertação, é de realçar que é uma vantagem ainda assim.

Metodologia aplicada

Para desenvolver um motociclo, ou qualquer produto, há vários estágios de projeto fundamentais ao seu correto desenvolvimento, primeiramente tem de ser estudado o mercado no qual o produto irá ser integrado, posteriormente cria-se o conceito havendo já o desenvolvimento das primeiras formas em desenho manual, e, finalmente, procede-se para o desenho assistido por computador (CAD) onde se dá detalhe ao modelo fazendo com que este assuma a sua forma final, sendo isto possível com a utilização do *software* disponibilizado: o *SolidWorks 2019*.

Para provar a resistência em situações mais críticas de utilização do motociclo e para seleccionar o material dos principais componentes, irá-se realizar um estudo estrutural com ensaios numéricos realizados utilizando um *add-on* do *SolidWorks*: o *SolidWorks Simulation*.

Corpo do documento

O conteúdo desta dissertação é dividido em 6 principais capítulos:

Capítulo 1: No primeiro capítulo tem-se o estado da arte, onde estão presentes as principais informações base para fundamentar os princípios desta dissertação, assim como informações base que auxiliam no próprio desenvolvimento do motociclo;

Capítulo 2: No segundo capítulo tem-se o desenvolvimento do conceito, sendo uma das etapas mais importantes no projeto, onde primeiramente se faz o estudo do mercado que o motociclo desenvolvido irá entrar, assim como a exposição dos primeiros *sketchs* manuais;

Capítulo 3: Este capítulo consiste na etapa que exigiu o maior tempo despendido na realização do projeto. O modelo de detalhe consiste na passagem das ideias do conceito desenvolvido no capítulo anterior para um objeto tri-dimensional dimensionado corretamente, onde foi necessário fazer um estudo ergonómico e funcional, para que tal fosse possível;

Capítulo 4: O quarto capítulo consiste no estudo estrutural do modelo desenvolvido anteriormente de modo a que este apresente resistência mecânica suficiente em situações críticas de utilização, onde se teve de seleccionar o material dos principais componentes, assim como a remodelação de algumas partes por questões puramente mecânicas, quer seja para aumentar a resistência ou reduzir material desnecessário;

Capítulo 5: Neste capítulo tem-se a exposição do modelo final com imagens fotorrealistas, assim como a listagem dos principais componentes presentes no motociclo;

Capítulo 6: O último é dedicado às conclusões retiradas com a realização deste projeto, onde se discute que objetivos foram cumpridos, assim como possíveis trabalhos futuros a desenvolver no motociclo.

Capítulo 1

Estado da arte

1.1 Mobilidade urbana

Atualmente cerca de 55% da população mundial vive em cidades, e este número tenderá a aumentar no futuro segundo as Nações Unidas, estando um valor projetado de 68% para 2050 [5]. No entanto, mais de 60% das pessoas vive, atualmente, em zonas urbanas com mais de 10 000 pessoas, tornando a mobilidade urbana, mais que nunca, um mercado em crescimento para a indústria dos transportes [6]. A disponibilidade de veículos eficazes para este tipo de deslocações é imperativa para a continuação do desenvolvimento dos centros urbanos. Cabendo ao ramo da engenharia o aumento dessa disponibilidade com o desenvolvimento de veículos capazes de efetuar deslocações de forma eficiente, limpa, ergonómica e confortável.

A necessidade do desenvolvimento deste tipo de mobilidade advém de dois principais fatores: congestionamento urbano e emissões de dióxido de carbono. Ambos estes problemas têm origem no tipo de locomoção utilizada pela sociedade nas zonas urbanas. A deslocação de apenas um indivíduo num carro de 4 lugares com um motor de combustão, para além das emissões por este emitidas, aumenta o congestionamento em cerca de 4 vezes, relativamente a uma locomoção de apenas veículos de duas rodas.

Segundo a Comissão Europeia, cerca de 100 mil milhões de euros são perdidos devido ao congestionamento urbano, correspondendo a 1% do Produto Interno Bruto da União Europeia. As soluções para este problema aparentam ser simples, mas não são fáceis de implementar. O aumento da utilização de transportes públicos assim como a substituição de veículos de 4 rodas por veículos de duas, auxilia imenso a resolver este problema, no entanto as pessoas aparentam não dar a devida importância a este problema. A arquitetura das estradas e o controlo no fluxo do trânsito também sofreram evoluções aumentando cada vez mais a eficiência dos transportes públicos. Um grande exemplo de alterações de sucesso em estradas de meios citadinos são as cidades Holandesas de Amesterdão e Roterdão, onde se construíram vias específicas para velocípedes oferecendo uma fluidez notável à cidade. Sendo o sector dos transportes responsável por um quarto das emissões de dióxido de carbono [7], e que mais de metade das pessoas vivem em cidades, é fácil concluir que os transportes nas cidades reduzem drasticamente a qualidade do ar nas mesmas. A utilização de veículos de 4 rodas equipados com um MCI para deslocações individuais em cidades mostra-se, mais uma vez, incrivelmente ineficiente, dando origem a elevadas emissões de CO₂, quando comparada com um ambiente de deslocações utilizando um misto de transportes públicos e motociclos.

Uma nova tendência nas deslocções urbanas é a utilização de transportes públicos elétricos. Na China, o maior utilizador deste tipo de locomoção no mundo, 17% da sua frota de autocarros já estão equipados com motorizações elétricas, sendo que 99% dos autocarros elétricos do mundo estão, de momento, em utilização na China [8].

Nem todas as deslocções são propícias a uma utilização de transportes públicos, e com uma incorporação de motociclos elétricos para as que não são, um vínculo criado entre estes dois tipos de transporte resultaria numa locomoção citadina eficiente e limpa. Com altas reduções nas emissões de dióxido de carbono, assim como altas melhorias no fluxo de trânsito das cidades, reduzindo o congestionamento urbano. Concluiu-se basicamente que a locomoção ideal em meios urbanos dá-se com a simbiose entre transportes públicos e veículos de duas rodas, quer velocípedes em cidades e condições propícias a tal, ou com a utilização de motociclos elétricos.

1.2 Evolução das motorizações elétricas

A utilização de motorizações elétricas em veículos já existe desde a invenção do primeiro carro. No entanto, só desde os anos 2000 se começaram a comercializar veículos elétricos capazes de competir no mercado com veículos equipados com motores de combustão. Antigamente os problemas ecológicos não eram tidos em conta como nos dias de hoje, levando a um maior desenvolvimento dos motores de combustão, mostrando-se naquela altura mais promissores que as motorizações elétricas.

O desenvolvimento de motorizações elétricas foi, de certo modo, adiado maioritariamente devido à baixa eficácia do armazenamento energético, que, mesmo nas baterias atuais de iões de lítio, apresentam valores de energia específica muito inferiores aos combustíveis fósseis. No entanto, as baterias evoluíram bastante nas últimas décadas, quer na quantidade de energia armazenada quer no número de ciclos de carregamento. Sendo que as baterias de iões de lítio são muito superiores às utilizadas antigamente, como as de hidreto de níquel ou chumbo-ácido. Onde estas eram difíceis de implementar nos veículos, devido principalmente ao extremamente baixo número de ciclos de carregamento quando comparadas com baterias de iões de lítio. Outro fator que torna a utilização de motorizações elétricas mais cómodas atualmente, é o controlo que se consegue agora ter sobre todo o sistema propulsor do veículo com o auxílio de computadores de bordo, que outrora eram inexistentes ou demasiado simples. A simbiose que se obtém com a computadorização de uma motorização elétrica, colabora para o aumento da autonomia e da eficácia da motorização no geral. Dando uma utilização mais inteligente à energia armazenada, quer na forma que é despendida, quer na forma que é reaproveitada.

Não só os fatores tecnológicos motivaram o adiamento das motorizações elétricas



Figura 1.1: Carro elétrico construído no início do século 20 [9].

sobre os MCI, mas também os fatores ecológicos desempenharam, e desempenham, um papel fulcral na motivação para o desenvolvimento de veículos elétricos. Relativamente a questões ambientais, as opiniões da sociedade sofreram uma grande evolução nos últimos tempos. Pois, há umas décadas atrás, os problemas ecológicos não eram levados em conta com a mesma seriedade que hoje em dia. Agora a sociedade tem mais consciência de que a forma de como se deslocam é importante para sociedade, e principalmente, para o ambiente.

Com uma mentalidade mais ciente dos fatores ecológicos, foram analisadas formas de introduzir a tecnologia elétrica na mobilidade. Analisando as supremacias da tecnologia elétrica relativamente aos MCI, tem-se que estes apresentam um conjunto de vantagens que são precisamente as desvantagens das motorizações a combustão. Tais como: fácil implementação de regeneração de energia, funcionamento a baixas velocidades e, sendo obviamente a maior das vantagens, 100% livre de emissões locais de dióxido de carbono. Assim nasceu o veículo híbrido. Uma simbiose entre duas motorizações completamente distintas que conseguem colmatar as suas desvantagens mutuamente, de modo a criar um veículo deveras eficaz sem nenhuma grande desvantagem aparente. O primeiro veículo híbrido a ser comercializado em massa foi o *Toyota Prius* em 1997, sendo ainda hoje um dos híbridos mais facilmente reconhecíveis devido à sua popular utilização nos EUA, tendo a sua venda aí iniciado no ano 2000. Desde então os veículos híbridos têm vindo a evoluir, tendo sempre como objetivo a simbiose perfeita entre as duas motorizações de modo a criar um veículo eficaz e eficiente no desempenho de todas as funções que lhe são requeridas. Estando disponíveis utilizações citadinas livres de emissões e efetuadas de forma eficiente com regenerações de energia, mas, simultaneamente, tendo elevada potência e autonomia proveniente do MCI, dando oportunidade de elevadas velocidades de autoestrada e viagens de longa distância.

Com a crescente utilização de veículos híbridos, rapidamente se tomou consciência da potencialidade das motorizações elétricas. Pois, aquando um veículo híbrido tem uma utilização completamente urbana, este não tem necessidade de ativar o MCI, sendo um veículo 100% elétrico enquanto as baterias assim o suportarem. Surgiu assim a ideia de desenvolver um veículo híbrido com a possibilidade de recarregamento das baterias à semelhança de um veículo elétrico, oferecendo a oportunidade de apenas utilizar a motorização elétrica, sem abdicar de possuir um motor de combustão. Novamente, foi a *Toyota* a



Figura 1.2: *Tesla Model S* [10].

pioneira desta tecnologia, mostrando ser a uma das marcas na vanguarda das tecnologias híbridas. Tal como o *Toyota Prius* revolucionou o mercado dos veículos híbridos, no que toca ao mercado dos veículos 100% elétricos a *Nissan* e a *Tesla*, com os modelos *Leaf* e *Model S*, respetivamente, colocaram os carros elétricos nas bocas do mundo automobilístico pelas suas características diferenciadoras, mas apesar de tudo, por serem tão semelhantes aos carros com motores de combustão. Apesar de ser contraditório, são as semelhanças nos carros elétricos do presente que fascinam, pois era impensável

no passado existir carros elétricos que consigam substituir completamente os obsoletos carros com MCI.

A *Nissan* tomou uma abordagem mais urbana com o desenvolvimento do *Leaf*, consistindo este num *hatchback* de 80 kW, está concebido para deslocações não só urbanas, mas para um carro do dia-a-dia capaz de realizar as deslocações necessárias. No entanto, está longe de um carro executivo ou para viagens de longas distâncias como é o caso do *Model S*. Este consiste num grã-turismo executivo equipado com motores de elevada potência e com baterias de grandes capacidades de armazenamento energético. Claramente se observa que as motorizações elétricas também podem ser utilizadas de formas distintas, dando utilidade às inúmeras vantagens que este tipo de motorização apresenta. O que deixa em aberto o veículo em específico a desenvolver neste trabalho, pois podem ser aproveitadas inúmeras vantagens da utilização de uma motorização elétrica num veículo de duas rodas. Dependendo do público alvo selecionado, inúmeros veículos podem ser desenvolvidos, de forma a utilizar as vantagens deste tipo de motorização para uma potencial utilização destes veículos do ponto de vista do comprador inserido no público alvo. Onde este, terá disponível um veículo capaz de satisfazer as suas necessidades de locomoção, sem colocar em causa uma utilização ergonómica e confortável.



Figura 1.3: *Nissan Leaf* [11].

1.3 Veículos de duas rodas

No que diz respeito à locomoção sobre duas rodas, ultimamente as mentalidades também se alteraram um pouco. Com o desenvolvimento de ciclomotores citadinos baratos e práticos, muitas pessoas utilizam esta locomoção nas cidades como meio de transporte secundário. O que representou uma evolução positiva na mentalidade da sociedade acerca de assuntos ecológicos. Se bem que este movimento foi maioritariamente causado por questões económicas, levando a que as pessoas economizem algum dinheiro com a utilização de um veículo deste tipo, pois os consumos de combustível, a manutenção e os impostos são muito mais reduzidos que num carro comum.

No entanto existe um outro mercado nos veículos de duas rodas que pertence principalmente aos entusiastas de veículos de duas rodas. Neste mercado também já foi introduzida a tecnologia elétrica, oferecendo oportunidade de deslocações livres de emissões aos fãs das duas rodas, sem nunca comprometer o espírito motociclista. Ao contrário dos veículos de 4 rodas, os motociclos são principalmente utilizados para deslocações relativamente pequenas, o que motiva ainda mais a ampliação do ramo elétrico do mercado motociclístico. Até ao ano 2000 só foi lançado ao público um veículo elétrico de duas rodas relevante. Desenvolvida pela *Peugeot*, a *Peugeot Scoot'Elec* foi a primeira *scooter* a ser produzida em massa. Estando equipada com um motor de 2,8 kW e com uma autonomia de 40 quilómetros, a *Scoot'Elec* foi o primeiro veículo elétrico de duas rodas a ter como objetivo as pequenas deslocações citadinas. Desde então até aos dias de hoje,

inúmeras marcas de motocicletas apostaram no mercado das motorizações elétricas, não só para utilizações citadinas, mas também para a completa substituição dos motociclos comuns equipados com motores de combustão.

O desenvolvimento de motociclos com autonomias além dos percursos de cidade, só nos últimos anos estão a ser comercializados devido ao facto que com baterias de baixa energia específica, os motociclos ficariam muito pesados, levando ao difícil manuseamento dos mesmos. Assim, os motociclos estão ainda mais dependentes da tecnologia aplicada às baterias do que os veículos elétricos de 4 rodas. Os motociclos detêm de uma característica que os carros estão isentos: ciclística. Consistindo na forma que o veículo responde aos *inputs* do operador, a ciclística reflete a dinâmica presente no motociclo, sendo uma das características mais importantes. O seu manuseio e conforto de utilização, são extremamente dependentes do peso total do motociclo, sendo a distribuição de peso o principal fator na sua ciclística.

Uma outra vantagem, já mencionada, que os motociclos apresentam é a redução do congestionamento de trânsito nas estradas urbanas. Quando um indivíduo se desloca sozinho para o trabalho num SUV citadino como o *Nissan Juke* ocupa 7 metros quadrados de estrada, enquanto se tivesse deslocado num motociclo comum ocuparia entre 1,5 a 2 metros quadrados, estando este valor já próximo daquele atingido pelos veículos públicos, isto é, a área ocupada por pessoa. Apenas com a substituição de um SUV com um motociclo reduz-se o espaço ocupado em cerca de 4 vezes.



Figura 1.4: *Peugeot Scoot' Elec* [12].

1.4 Conceitos motociclísticos

Para além dos motociclos elétricos exclusivamente citadinos como as *scooters* elétricas, recentemente têm sido introduzidos no mercado diversos modelos de motociclos elétricos que têm como referência conceitos já existentes na época dos veículos a combustível. Estes veículos são mais direcionados para, como referido anteriormente, indivíduos afeitos por veículos de duas rodas, ou seja, são maioritariamente comprados não só pela sua necessidade, mas pelo gosto pelo tipo de veículo, algo que as *scooters* elétricas têm mais dificuldade, pois são veículos muito mais recentes, fugindo um pouco aos conceitos motociclísticos estabelecidos no passado. Posto isto, já se pode notar um confronto de possíveis conceitos a desenvolver no trabalho, havendo a possibilidade de pegar em conceitos clássicos motociclísticos, melhorando-os implementando uma motorização elétrica, ou por outro lado, consistir na inovação, colocando mais ênfase na funcionalidade do veículo.

Dos conceitos clássicos, já quase todos foram alvo da eletrificação da sua motorização.

Principalmente nos EUA, diversas marcas surgiram com o objetivo de reinventar as chamadas *mopeds* (ciclomotores), que outrora foram um dos principais meios de transporte para pequenas deslocções, tendo sido um tipo de veículo bastante utilizado em Portugal nas décadas de 70 e 80. Sendo um veículo de pequenas dimensões e de fácil manuseamento, a implementação de motorizações elétricas neste tornam-se bastante promissoras, pois mesmo o conceito clássico consistia em baixas potências, baixos pesos, baixa autonomia, mas acima de tudo divertido de utilizar. Indicando, à partida, que a eletrificação destes veículos pode ser uma boa aposta.

Outros conceitos também já explorados pelas marcas pioneiras na eletrificação de motociclos, foram motociclos de maiores dimensões como as *Supermotos* ou as *naked*. Ambos os conceitos são bons para utilização citadina, no entanto, não são para qualquer pessoa. O conceito de *Supermoto* consiste num veículo semelhante a um motociclo de todo o terreno, com pneus de estrada, na verdade foi assim que se deu início a este conceito, com a substituição das suas rodas e pneus. As vantagens deste tipo de veículos em cidade resumem-se à sua agilidade e posição de condução, que proporcionam uma excelente condução urbana. Por outro lado, as características que proporcionam as vantagens deste conceito, são as mesmas que proporcionam as desvantagens, pois a posição de condução é difícil para alguém fora do mundo motociclista devido à altura de condução. E a agilidade deste motociclo só é aproveitada por alguém experiente em duas rodas. Os motociclos *naked*, por outro lado, não são tão difíceis de conduzir, no entanto, por norma, estes veículos estão equipados com motores de elevada potência que também podem colocar de parte indivíduos mais distantes do mundo das duas rodas. Como já foi referido, uma aposta no desenvolvimento de motociclos elétricos com base em conceitos clássicos torna-se arriscado devido à limitação do público alvo para quem o produto irá ser comercializado. No entanto, aposta essa já está a ser tomada por marcas muito reconhecidas, como a *Harley-Davidson*, que em 2019 irá lançar o seu primeiro veículo elétrico com a *Harley-Davidson LiveWire*. Um motociclo elétrico do estilo *naked* de elevada potência [22]. Como se pode concluir, a seleção do público alvo vai ser uma decisão crucial no prosseguimento deste trabalho, limitando quase por completo as hipóteses de motociclos elétricos a desenvolver.



Figura 1.5: Modelo exemplar de *supermoto* (Husqvarna 701) [13].

Capítulo 2

Desenvolvimento do conceito

2.1 Público alvo

A seleção do público alvo para este veículo é uma tarefa deveras importante, pois há inúmeras hipóteses na seleção do nicho de mercado a apostar. Vários fatores ditam a credibilidade no nicho de mercado selecionado para além das locomoções requeridas pelos indivíduos, tais como o "à vontade" de conduzir um veículo de duas rodas e a sua idade. No entanto, obviamente que o fator mais importante de todos é a deslocação para a qual o indivíduo irá empregar o veículo.

Desde a micro-mobilidade urbana de distâncias inferiores a 20 quilómetros até a distâncias utilitárias com mais de 50 quilómetros, os vários requisitos de locomoção alteram radicalmente o conceito do veículo a projetar. Desde potência elétrica a instalar, à autonomia requerida, todo o sistema moto-propulsor se altera com os diferentes requisitos, assim todo o veículo teria de representar um conceito completamente diferente.

2.1.1 Deslocações estritamente citadinas

As deslocações diárias de curtas distâncias são muito comuns para quem habita numa cidade ou centro urbano. Normalmente estas são realizadas utilizando um carro, contudo, não é de todo a forma mais eficiente e eficaz de o fazer. O caso ideal é um indivíduo possuir um pequeno motociclo para pequenas deslocações urbanas e um carro comum para deslocações de maior distância.

A deslocação diária de alguém que viva numa cidade, quer seja para o trabalho ou para a escola, requer um veículo com as seguintes características:

- **baixa potência:** de forma a abranger um maior número de pessoas possível (categoria A1);



Figura 2.1: *KTM Delta concept* [14].

- **leve:** aumentando assim a agilidade do veículo e o manuseamento do mesmo;
- **ágil:** de modo a aumentar a sua eficácia no trânsito citadino;
- **fácil manuseamento:** para que praticamente qualquer pessoa o possa utilizar;

Inúmeras características enunciadas anteriormente se completam mutuamente, mostrando a credibilidade do conceito. Por exemplo, tudo leva a que o veículo seja leve, pois os requisitos de potência e autonomia apresentam baixos valores, assim como se quer um baixo peso para boa agilidade e manuseamento.

Como este veículo requer baixa potência e tem como objetivo um abrangente público alvo, a sua potência não deve exceder os 11 kW, de modo a estar incluído nos motociclos de categoria A1.

2.1.2 Deslocações utilitárias de média distância

Se um indivíduo optar por realizar mais deslocações, num motociclo elétrico, para além das estritamente citadinas necessita de um veículo de maior autonomia, de maior potência (de modo a possibilitar velocidade cruzeiro confortável) e maior nível de conforto. Um motociclo com estas características também poderia ser utilizado em cidade, no entanto, o custo deste é muito superior ao necessário para a deslocação urbana, pois possui características desnecessárias a esta utilização.



Figura 2.2: *Zero S* [15].

Um motociclo deste tipo iria ser mais restrito quanto ao público alvo, pois requer maior potência, sendo a categoria deste veículo A2 e não A1 como a anterior. Fazendo deste um veículo mais "intimidador" para quem não está no mundo motociclístico devido às maiores dimensões, peso e potência.

2.1.3 Micromobilidade

Levando ainda mais ao extremo as pequenas deslocções urbanas, entra-se numa área conhecida como *micromobilidade*. Onde estão inseridas as bicicletas comuns, as bicicletas elétricas e pequenas *scooters*.

Estes veículos estão destinados a deslocções extremamente curtas, possuindo potências e autonomias muito baixas de modo a reduzir ao máximo o seu peso, assim como custo. Alguns destes veículos possuem um sistema de proporção híbrido, possuindo pedais de modo a aumentar a sua autonomia. Várias marcas produtoras de automóveis já produziram conceitos deste tipo, principalmente as marcas incluídas no grupo *VolksWagen*, como a *Audi* e a *Skoda*. Os possíveis compradores deste tipo de veículo seriam pessoas que possivelmente estariam a ir para o trabalho ou para a escola/faculdade a pé ou numa bicicleta comum e simplesmente querem dar *upgrade* ao seu meio de transporte diário, de modo a se deslocarem de forma mais rápida e cómoda.



Figura 2.3: *Skoda Klement* [16].

2.1.4 Público alvo selecionado

Após uma reflexão acerca dos diferentes nichos sociais possíveis, aquele que mostra maior probabilidade de sucesso, é o público que pretende realizar pequenas deslocções estritamente citadinas. Pois, os requisitos do veículo para este tipo de deslocção são de fácil implementação, levando a que o custo do veículo seja inferior, mas garantindo a sua correta funcionalidade. Uma grande vantagem que este tipo de motociclo apresenta, é a diversidade de pessoas que o poderão adquirir, devido a baixos valores de potência, mesmo quem está fora do mundo motociclístico não fica intimidado. Mais características acerca do público alvo são necessárias para além do tipo de deslocção, como idade e género.

O veículo, devido à sua baixa potência, pode ser conduzido com a carta de condução A1, ou seja qualquer pessoa com mais de 16 anos poderá conduzi-lo. Assim, o seu aspeto terá de ser jovem e inovador. Os principais compradores deste motociclo seriam desde jovens com 16 anos até adultos de 35. Sendo o veículo ideal para pessoas que trabalhem relativamente perto, ou para jovens que pretendam ir para a escola/faculdade num veículo eficiente e eficaz no meio urbano.

2.2 Modelo de Kano

O modelo de *Kano* consiste num método utilizado para qualificar os requisitos requeridos num determinado produto por um determinado público alvo. Ilustrando a satisfação dada ao consumidor conforme o tipo de requisito. Sendo deveras útil para identificar os requisitos nos quais se deve tomar mais atenção durante o desenvolvimento do respetivo produto, levando a uma maior satisfação do cliente aquando a chegada do artefacto ao mercado.

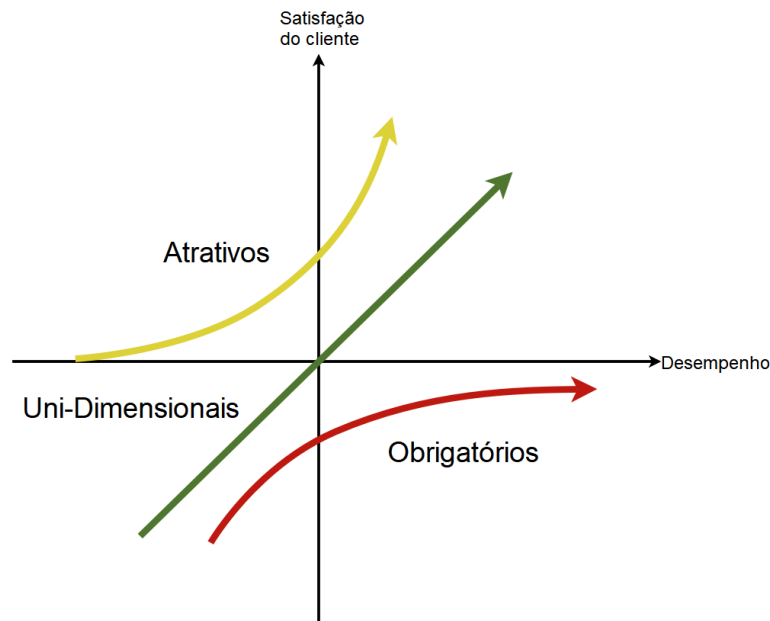


Figura 2.4: Ilustração do modelo de *Kano*.

Os requisitos do produto são separados em 3 categorias:

- **Uni-Dimensional:** quanto mais intenso o requisito maior a satisfação;
- **Atrativo:** não são obrigatórios para o cliente, mas se existirem diferenciam o produto positivamente;
- **Obrigatórios:** o cliente espera que estes requisitos estejam presentes, sem eles o cliente fica insatisfeito.

Tabela 2.1: Classificação dos requisitos do produto segundo o modelo de *Kano*.

Uni-Dimensionais	Obrigatórios	Atrativos
Simplicidade; Baixo consumo; Qualidade de construção; Elevada autonomia; Relação preço/qualidade; Posição de condução; Acesso aos controlos;	Boa visibilidade e iluminação; Estabilidade de condução; Compartimentos de arrumação; Conforto;	Design futurista; Design minimalista; Preço;

No conjunto de requisitos classificados como obrigatórios, estão incluídos os requisitos que o cliente considera imprescindível estarem presentes no veículo. Os requisitos colocados nesta categoria estão relacionados com a segurança e o conforto durante a utilização do veículo. Estes requisitos nunca podem faltar no veículo, este terá de ter a segurança necessária para não mostrar perigo para o utilizador, tendo presente um bom sistema de travagem assim como visibilidade durante a condução, de modo a que o condutor possa ver e ser visto pelos outros utilizadores da via pública durante condições de fraca visibilidade. O conforto é também obrigatório pois o nível mínimo de conforto durante a utilização é exigido em qualquer produto, principalmente num veículo, onde a posição de condução e o acesso aos controlos são muito importantes.

Quanto aos requisitos uni-dimensionais, foram selecionados aqueles que satisfarão mais o cliente quanto mais intensos este forem, como a fiabilidade do veículo, quanto melhor for a qualidade de construção mais contente ficará o cliente com a sua compra. O mesmo acontece com o ruído que o veículo faz durante a sua deslocação, tendo um cliente adquirido um veículo elétrico, não é expectável que este seja muito ruidoso, no entanto o som que este produz não deve ser incómodo mesmo que seja baixo. A autonomia do veículo é também um requisito uni-dimensional, mesmo que o cliente compre o veículo para pequenas deslocações, será sempre uma vantagem a presença de uma autonomia maior, dando a possibilidade de deslocações um pouco mais longas ou a não necessidade de recarregar diariamente. Todos os requisitos relacionados com os custos são também incluídos nesta categoria, como os custos de manutenção e a relação preço/qualidade.

Os requisitos atrativos são aqueles que diferenciam o veículo e que despertam a atenção do cliente. O *design* e a aparência do motociclo a desenvolver são muito importantes na atração do cliente, pois, para além de requisitos não funcionais, são requisitos subjetivos, mas importantes. Como o público alvo é composto por jovens, a aparência do veículo deve ser minimalista, com um *design* original e futurista, tentando-se desprender da imagem de um motociclo comum.

Um outro requisito proposto é a existência de compartimentos de arrumação para objetos do utilizador. Como é sabido, o conceito citadino de duas rodas mais utilizado, a *Scooter*, tem compartimentos de arrumação de volumes consideráveis, ao contrário de conceitos mais semelhantes aos motociclos comuns, onde o compartimento de arrumação é quase destinado a ferramentas de reparação do pneu e pouco mais. Uma junção dos dois conceitos seria implacável no mercado, juntando utilidade com *designs* mais apelativos.

2.3 QFD - *Quality Function Deployment*

O método de *Kano* é útil para definir os requisitos do cliente e para tomar consciência da importância de determinados requisitos do produto. No entanto, para saber a importância de cada requisito em específico e a forma de como as especificações do veículo serão alteradas em função das exigências do cliente, tem de ser utilizada uma ferramenta que relaciona as especificações do produto com os requisitos do cliente. Esta ferramenta denomina-se de QFD - *Quality Function Deployment*.

2.3.1 Especificações do veículo a desenvolver

Esta ferramenta prioriza os requisitos de forma a dar importância ao que realmente é importante no desenvolvimento do veículo, assim como a priorização das especificações do mesmo.

A tabela 2.2, mostra as especificações consideradas no preenchimento da matriz QFD. Estando divididas em 3 categorias: especificações dimensionais, de desempenho e outras.

Tabela 2.2: Especificações do veículo a introduzir na matriz QFD.

Dimensionais	Desempenho	Outras
Comprimento; Altura do banco; Altura do guiador; Peso;	Potência; Velocidade Máxima; Autonomia; Consumo energético;	Nº de faróis; Volume dos compartimentos; Localização do motor; Sistema de transmissão de potência;

As especificações dimensionais são aquelas que são mensuráveis no produto sem que este necessite de estar em operação. Por outro lado, as especificações de desempenho são aquelas que são apenas demonstradas quando o produto está a desempenhar a sua função, indicando características mensuráveis, mesmo que não seja diretamente, de como este se comporta durante o seu funcionamento. As características nomeadas como "outras" são aquelas que podem não ser mensuráveis, mas mesmo que o sejam, não refletem as dimensões do veículo nem o seu desempenho funcional.

2.3.2 Produtos concorrentes

A ferramenta QFD necessita da introdução de alguns produtos concorrentes de modo a permitir a comparação dos requisitos e especificações do veículo a desenvolver e daqueles que já se encontram presentes no mercado. Os veículos selecionados são aqueles que, após a chegada ao mercado do produto desenvolvido nesta dissertação, iriam ser concorrentes diretos. Sendo produtos que o cliente seria aproximadamente o mesmo, tendo de escolher entre eles. Ambos os veículos utilizados para comparação estão em gamas de preço próximas dos 3500 euros.

O modelo *SH125i* desenvolvido pela afamada marca de motocicletas *Honda*, segue o conceito popular de *Scooter* utilitária para utilização primariamente urbana. O que faz deste modelo um concorrente direto ao veículo a desenvolver nesta dissertação, desempenhando funções bastante semelhantes. O principal atributo que os diferencia é a utilização de um motor de combustão interna por parte do modelo concebido pela *Honda*. Sendo simultaneamente uma vantagem e uma desvantagem, pois faz com que o veículo tenha uma autonomia bastante elevada, no entanto, a ecologia do veículo é reduzida. Mesmo apresentando consumos consideravelmente baixos, não deixa de possuir um MCI sem qualquer aproveitamento de energia. Apresentando-se então a motorização como uma desvantagem.



Figura 2.5: *Honda 125i* 2019 [17].

O que faz deste veículo, e de qualquer *Scooter* no geral, um difícil candidato de superar, é o seu volume dos compartimentos. Normalmente, as *Scooters* têm grandes capacidades de armazenamento ao dispor do seu utilizador, principalmente devido ao design do seu conceito, sendo um veículo mais largo que um motociclo comum e tendo uma posição de condução completamente distinta.

A recente marca de motocicletas elétricas *Super Soco* apresenta vários modelos neste ramo de mercado, havendo especial destaque ao modelo *TC*. Este modelo dispõe de um motor elétrico de baixa potência alimentado por baterias de pequena autonomia, bastante semelhante ao que se pretende desenvolver nesta dissertação. No entanto, este motociclo baseia-se em conceitos de design outrora utilizados por motociclos de motorizações de combustão. Não apresentando design futurista ou inovador, consiste numa evolução dos motociclos comuns com a aplicação de motorizações elétricas.



Figura 2.6: *Super Soco TC* 2019 [18].

No entanto, em termos de autonomia e potência, esta é bastante semelhante ao que se pretende aqui desenvolver. Apresentando valores ideais para a deslocação em cidade. Tendo autonomia suficiente para qualquer deslocação urbana e potência para as velocidades indicadas em cidade.

Quanto aos compartimentos de arrumação, esta é semelhante aos motociclos comuns, dispondo de pouco volume para objetos do utilizador. Devido principalmente ao design ser tão semelhante a estes veículos. Estando aqui presente a principal desvantagem em relação ao conceito anteriormente referido, a *Scooter*.

2.3.3 Matriz da qualidade

Dispondo já dos requisitos e especificações do produto, procede-se ao preenchimento da primeira tabela do método QFD: matriz de qualidade. Esta matriz consiste no relacionamento das especificações do veículo com os requisitos do cliente, refletindo o peso que cada requisito que o cliente propõe tem em cada especificação do veículo. Onde, durante o preenchimento da matriz, se atribui um valor de influência que cada requisito tem nas diferentes especificações que compõe o veículo. Auxiliando assim no desenvolvimento do produto, obtendo-se resultados ilustrados graficamente com as especificações ordenadas, onde aquelas que merecem especial atenção durante o desenvolvimento do veículo aparecem no topo do gráfico, enquanto as menos relevantes estão na parte inferior. (Ver Anexo A)

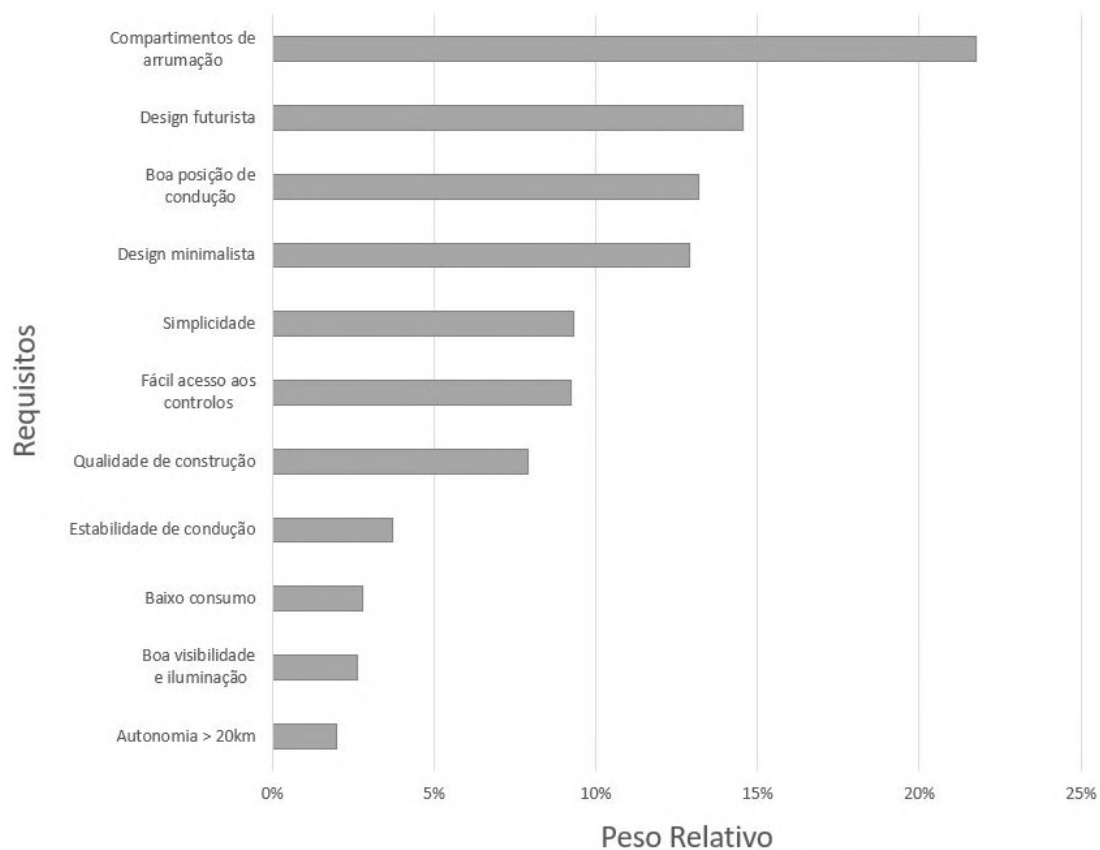


Figura 2.7: Peso relativo dos requisitos do cliente.

Como se observa no gráfico da figura 2.7, os compartimentos de arrumação são um requisito muito importante no desenvolvimento do veículo, pois influenciarão severamente as especificações dimensionais do veículo. Havendo também a pressão no mercado causada pela *Scooter*, sendo esta um difícil concorrente neste requisito em específico. Resultando assim no requisito mais importante. Os requisitos que ditam principalmente a aparência e o conforto do motociclo encontram-se na zona intermédia do gráfico, pois estes, obviamente, também merecem atenção no desenvolvimento deste produto, influ-

enciando deveras as suas vendas com a captação do público alvo. Os requisitos com menor peso relativo no gráfico são aqueles que são bastante fáceis de se atingir devido à natureza de uma motorização elétrica, não havendo assim a necessidade de se dar ênfase a estes.

No gráfico da figura 2.8, tem-se as especificações ordenadas pela influência que têm nos requisitos do cliente, sem ter em conta a análise de mercado, gráfico à esquerda, e tendo em conta a análise de mercado, gráfico à direita.

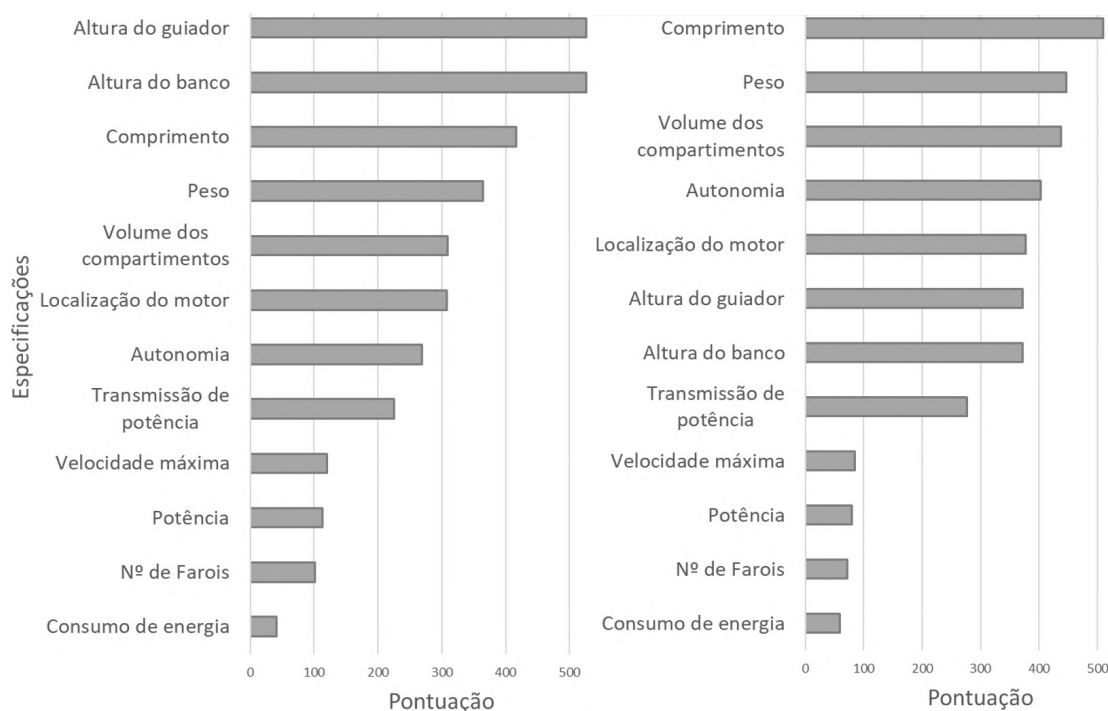


Figura 2.8: Características de qualidade iniciais e finais.

Após os resultados do gráfico das características de qualidade iniciais, procedeu-se à correção do mesmo com a introdução da análise de mercado e a análise da dificuldade de atuação. Isto é, influenciar os valores anteriores conforme a sua posição relativamente à concorrência no mercado, e conforme a dificuldade de melhorar essa determinada especificação.

Comparando os gráficos da figura 2.8 constata-se que houve algumas alterações nos resultados, principalmente nas especificações de pontuações mais elevadas, levando a que o comprimento do veículo ficasse a especificação mais importante, juntamente com o peso do veículo e com o volume dos compartimentos de arrumação.

2.3.4 Matriz do produto

Tendo-se finalizado a matriz de qualidade, avançou-se para a matriz do produto, onde há um confronto entre as especificações e os componentes que constituem o veículo, tendo como objetivo ordenar o peso relativo dos mesmos para ilustrar a sua importância relativa no desenvolvimento do produto. Os valores do gráfico das características de qualidade finais, figura 2.8, são introduzidos nesta matriz, fazendo com que as especificações tenham pesos diferentes.

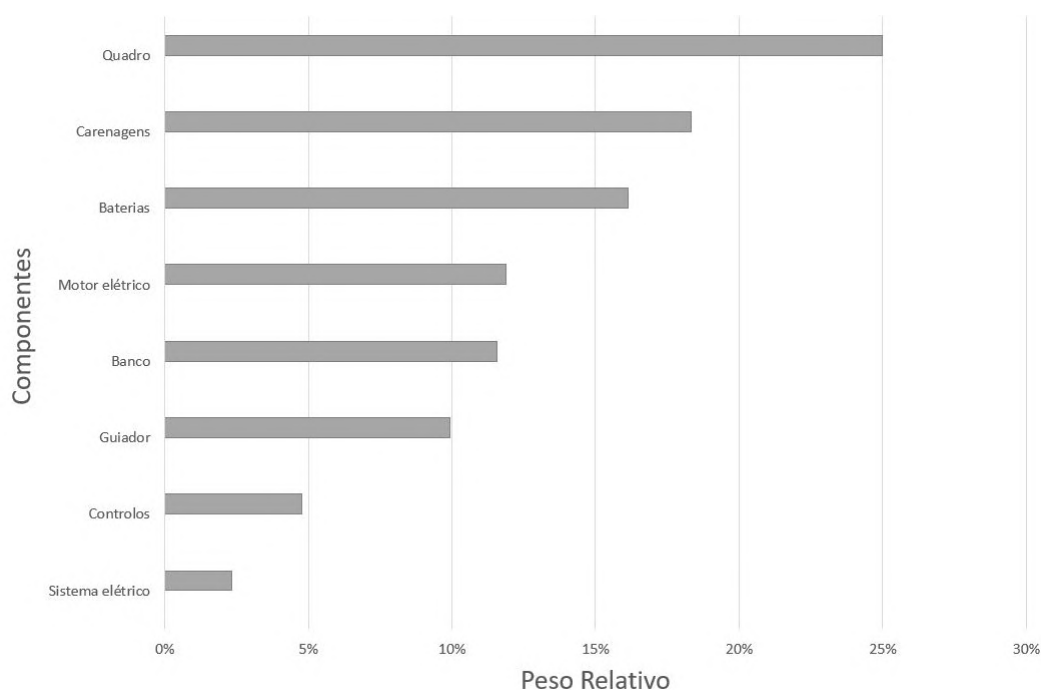


Figura 2.9: Peso relativo dos componentes.

Os resultados ilustrados no gráfico da figura 2.9 não mostram nenhuma surpresa na importância de determinados componentes. Era já sabido que o quadro e as carnagens do motociclo seriam os componentes mais relevantes no seu desenvolvimento. Pois são estes componentes que irão refletir os principais requisitos do cliente, assim como as principais especificações do veículo.

A meio do gráfico observamos os componentes do sistema moto-propulsor, que não irão ser desenvolvidos nesta dissertação, mas a sua seleção e estratégia de localização são cruciais para o projeto. A seleção destes dois componentes irá ditar não só a potência disponível ao utilizador mas também a autonomia do veículo, sendo estas duas especificações importantes do motociclo a desenvolver.

2.3.5 Considerações finais

Após terem sido retirados todos os resultados das matrizes de qualidade e de produto do QFD, pode-se agora interpretar os resultados, obtendo indicações nas prioridades a ter no restante desenvolvimento do veículo.

Analisando os resultados da matriz da qualidade, tem-se que os compartimentos de arrumação mostram ser bastante relevantes comparando com os restantes requisitos. Requisitos como o baixo consumo, boa visibilidade e autonomia maior que 20 quilómetros não requerem especial atenção pois são bastante fáceis de atingir neste projeto. Os requisitos abaixo dos compartimentos de arrumação mostram-se também importantes, estando entre eles requisitos relacionados com o design e ergonomia do veículo, sendo requisitos cruciais à cativação e satisfação do cliente.

Quanto às especificações, a matriz da qualidade indica que se deve ter atenção no peso, comprimento e o volume dos compartimentos do veículo. Se anteriormente se referiu que a motorização elétrica era uma vantagem, aqui é uma desvantagem, pois estas especificações requerem atenção especialmente pelo tipo de motorização utilizado. Sendo que as motorizações elétricas requerem espaço e peso para a acomodação das baterias, levantando questões de logística do espaço disponível no veículo para os compartimentos de arrumação.

Na matriz do produto podemos ver que componentes serão importantes no desenvolvimento, estando este ligados com os requisitos e especificações analisados anteriormente. Os componentes que irão alocar todo o sistema moto-propulsor requerem muita atenção no seu desenvolvimento. Estes componentes são o quadro e as carnagens, onde serão instalados não só o sistema moto-propulsor, mas como também todos os outros sistemas presentes no veículo. De modo a que exista um volume relevante para compartimentos de arrumação, a gestão do volume existente, assim como a geometria do quadro e das carnagens, é muito importante, podendo-se mesmo dizer que é o ponto crucial do desenvolvimento deste veículo.

2.4 Idealização do conceito

Após uma reflexão sobre resultados do *Quality Function Deployment*, facilmente se chega a um consenso no conceito a desenvolver. Pôde-se concluir que a existência de compartimentos de arrumação para o utilizador se mostra crucial no projeto. De modo a que este veículo possa estar ao nível dos seus concorrentes de mercado, este requisito tem de ser levado a sério de modo a que o seu utilizador tenha ao seu dispor volumes de arrumação suficientes para um capacete e uma mochila. Muito à semelhança do espaço disponibilizado numa *Scooter* comum. No entanto, este requisito irá influenciar muito a gestão do volume útil, dificultando a disposição dos diferentes sistemas presentes no motociclo, principalmente porque este é de motorização elétrica e é requerido espaço para alocação das baterias.

De modo a que o espaço disponível para os compartimentos seja suficiente, o volume despendido com as baterias tem de ser bem projetado, assim, a potência e respetiva autonomia têm de ser dimensionadas de modo a que as dimensões das baterias sejam o mínimo possível. A aposta num *design* alternativo, fugindo um pouco ao conceito comum de um motociclo, pode também auxiliar na distribuição dos componentes, criando uma disposição original dos componentes. Acabando por conceber um *design* futurista e original, sendo este um dos requisitos propostos do público alvo selecionado.

Finalmente, o conceito consiste num motociclo elétrico para utilização urbana de baixa potência (3 a 11kW) e baixa autonomia (30 a 60km), que tem capacidade de armazenar alguns bens do seu utilizador, como o seu capacete e mochila. Tendo assim um cariz mais utilitário do que um motociclo comum. Como a sua utilização é esperada que seja apenas urbana, a relativa baixa autonomia e potência não se mostram como um ponto negativo, mas sim como uma disponibilidade de poder transportar e guardar mais bens úteis ao utilizador, pois se a autonomia for aumentada o volume dos compartimentos tem quase que obrigatoriamente de reduzir.

O design deste veículo deve ser futurista, original e minimalista de modo a cativar o público alvo anteriormente selecionado e abrindo novas possibilidades de acomodar os diferentes sistemas do veículo assim como os compartimentos de arrumação.

De modo a dar início ao design do motociclo, explorou-se inúmeras hipóteses de disposição dos componentes. Pois, como há a intenção de haver bastante espaço disponível para arrumações, a disposição dos componentes do sistema moto-propulsor como as baterias e o motor, mostra-se uma tarefa difícil e deveras importante no projeto.

2.4.1 Localização do motor

Há duas hipóteses de localização do motor elétrico: no centro do motociclo, à semelhança dos motociclos equipados com motor de combustão, ou então localizado no cubo da roda traseira. De modo a ganhar o máximo espaço possível no interior da carroçaria do veículo optou-se pela última, também em parte devido à baixa potência requerida ao motociclo, pois a partir de certos valores de potência torna-se complicada esta aplicação. No entanto, esta escolha apresenta mais duas importantes vantagens: redução do peso suportado pelas suspensões (*sprung weight*) melhorando a ciclística do motociclo tornando-o mais ágil, e ainda a redução de componentes de transmissão de potência como uma correa ou corrente, que seria necessário caso o motor se encontrasse no centro do quadro. Porém, não foi a opção mais económica, mas é investimento crucial para a funcionalidade do conceito do veículo.



Figura 2.10: Motociclo com motor no quadro à direita e outro com motor no cubo traseiro à esquerda [15] [18].

Como se pode observar nas imagens da figura 2.10, um motociclo equipado com um motor elétrico no cubo traseiro não depende de um mecanismo de transmissão de potência como o veículo à direita da figura. No entanto, estes exemplos são motociclos bastante distintos em termos de valores de potência, onde o veículo à direita apresenta valores muito superiores. Daí este estar equipado com um motor apoiado no quadro e não na roda.

2.4.2 Localização das baterias

Os veículos elétricos apresentam motores de reduzidas dimensões quando comparados com os MCI de potência equivalente, no entanto, no que toca aos reservatórios energéticos que alimentam estes motores, os veículos elétricos estão plenamente em desvantagem. Como foi explicado no início desta dissertação, a gasolina (valores próximos para o gasóleo) apresenta uma densidade energética 65 vezes superior a uma bateria de iões de lítio. Sendo representada assim uma grande parte do peso do veículo elétrico quando comparado com um veículo convencional.

Num motociclo esta característica tem de ser levada muito a sério, pois o peso irá ditar a ciclística do veículo, dependendo assim a segurança e manobrabilidade do motociclo da localização das baterias. Que sendo um componente tão pesado irá influenciar deveras o centro de gravidade do motociclo, o que praticamente não acontece com um depósito

de combustível comum.

Devido às dimensões deste componente, não há muitas escolhas quanto à sua localização, sendo que estará apoiado ao quadro no centro do veículo, só resta estudar a forma a dar às baterias de modo a que a volumetria criada pela quadro consiga acomodar simultaneamente os espaços de arrumos e o reservatório energético. Onde este último tem que ter um volume de, no mínimo, 5 dm^3 de modo a possuir uma capacidade entre 2 a 5 kW.h dados os valores de potência e autonomia requeridos.

2.4.3 Localização dos arrumos

Como referido atrás, a localização dos arrumos de grandes dimensões estarão inseridos no centro do quadro partilhando esse espaço com as baterias. No entanto, esses arrumos só serão acessíveis quando o veículo está imobilizado. Havendo então outra zona de arrumos de pequenas dimensões para objetos de bolso como telemóvel e carteira. A localização ideal para esta zona será na região onde é comum um motociclo com MCI ter presente o seu depósito de combustível, estando assim numa posição de fácil acesso sem que o utilizador tenha de sair do veículo para aceder aos seus bens.

2.4.4 Apoio roda traseira

A forma que se apoia a roda traseira altera drasticamente o estilo do motociclo, sendo que esta roda pode ser apoiada por uma escora de dois apoios ou de apenas um apoio, isto é, haver escora em apenas um dos lados do motociclo. É muito mais comum encontrar motociclos com escora de duplo apoio devido à redução dos custos de produção e de simples operação. A escora de um apoio tem origem nos desportos motorizados onde se pretende sempre reduzir o peso do motociclo sempre que possível.

Os motociclos que se encontram na via pública com este tipo de escora têm-no principalmente por uma opção estética e não funcional. Possuindo uma aparência mais requintada e futurista do que uma escora comum.



Figura 2.11: Exemplo de um motociclo equipado com escora de um apoio [19].

Na figura 2.11 é bastante fácil de notar que o motociclo está equipado com uma escora de um apoio, sendo que o lado da moto que está exposto na imagem mostra a roda sem qualquer apoio à mostra, estando o único apoio no lado não mostrado na imagem. Dando assim uma apresentação mais simplista da roda traseira.

2.5 Primeiros *Sketchs*

Culminando todas as escolhas tomadas anteriormente, torna-se possível começar a dar forma ao motociclo. Onde agora tem-se como objetivo desenhar o veículo com componentes ainda sob forma simplificada, mas nos locais onde se pretende que estes estejam presentes no projeto final. O componente que assume maior importância no design do motociclo é o seu quadro estrutural, sendo que este irá suportar os restantes componentes, guiando a forma que se dá ao veículo, ditando a maneira que se une a roda dianteira à roda traseira.

Como é observável nos desenhos da figura 2.12, a forma que se deu à estrutura do motociclo foi uma forma em "Z". Representando uma forma simples no entanto eficaz nos apoios necessários aos componentes, onde as baterias formam a parte frontal unindo a parte superior à parte inferior do quadro.

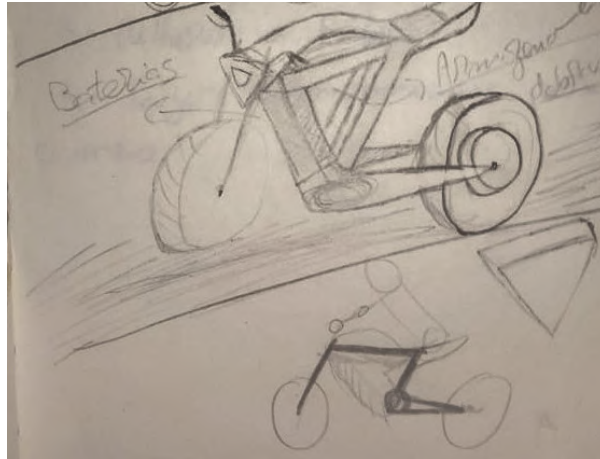


Figura 2.12: *Sketch* inicial do motociclo.



Figura 2.13: Vista lateral do conceito.

Na figura 2.13 a distribuição legendada dos diversos componentes mostra de forma mais clara o que foi referido anteriormente. Onde se tem as baterias a formar a parte da frente do motociclo enquanto o restante espaço criado pelo quadro é dedicado às arrumações, assim como a forma análoga a um depósito de combustível.

É fácil de notar que a distância entre eixos do conceito mostra-se muito mais curta do que um motociclo comum. Sendo que é propositado, pois o veículo é suposto transportar apenas um passageiro.

Fazendo também a curta distância entre eixos o motociclo mais capaz num ambiente urbano, oferecendo maior agilidade.

2.6 FMEA conceito

Failure Mode and Effect Analysis ou FMEA, do conceito é uma ferramenta de desenvolvimento do produto que permite a análise de potenciais falhas nas diferentes funcionalidades do produto a desenvolver. O objectivo com esta previsão de possíveis falhas é conhecer a causa, as consequências e a gravidade das mesmas. Mas principalmente, perceber como evitá-las a todo o custo, levando para adiante no projecto uma reflexão de possíveis falhas assim como métodos para as prevenir durante o desenvolvimento dos diferentes componentes.

Tabela 2.3: FMEA do conceito.

ITEM/ FUNÇÃO	TIPO DE FALHA POTENCIAL	CAUSA POTENCIAL DE FALHA	POSSÍVEIS EFEITOS DAS FALHAS	TERMOS CRÍTICOS DA FALHA	AÇÃO PREVENTIVA RECOMENDADA
Transporte do passageiro	Instabilidade do motociclo	Dimensões principais do veículo desadequadas	Condução perigosa	Falha Crítica	Simulações das situações críticas
		Montagem de componentes inadequada	Colapso do veículo/ Despiste		Cautela na seleção das ligações entre componentes
	Desconforto do condutor	Posição de condução inadequada	Condução perigosa Incómodo do condutor	Falha Maior	Estudo ergonómico das dimensões
Arrumar capacete	Capacete não entra no compartimento	Abertura do compartimento mal dimensionada	Não ser possível o armazenamento do capacete	Falha Maior	Cuidado no dimensionamento volumétrico do compartimento
	Capacete não cabe no compartimento	Volumetria do compartimento mal dimensionado			Teste no modelo 3D da entrada do capacete no compartimento
Transporte de bagagem	Bagagem soltar-se do resto do motociclo	Má ligação entre o compartimento de arrumação e o quadro	Perda ou danificação da bagagem	Falha maior	Cautela na seleção das ligações entre componentes
Condução	Dificuldade no controlo do veículo	Dificuldade no acesso aos controlos	Perda de controlo	Falha Crítica	Verificar se o acesso aos controlos estão de acordo com o estudo ergonómico
		Curva de binário do motor conforme o acelerador mal aplicada	Despiste do veículo		Incorporação de um controlador adquado ao motor
Design apelativo	Design desagradável ao comprador	Design desadequado ao público alvo	Desagrado do comprador	Falha Menor	Estudo do mercado, fazendo uma seleção específica do público alvo
		Más escolhas durante o design do veículo			Cautela nas escolhas estéticas do veículo

Na tabela 2.3 tem-se o FMEA conceito do motociclo, onde existem dois tipos de falhas que se apresentam como críticas devido a resultarem em possível despiste por parte do condutor. Estas são a instabilidade do motociclo e a dificuldade no controlo do mesmo. Onde a primeira se deve a mau dimensionamento dos principais componentes ou má montagem dos mesmos. Este problema pode ser resolvido com a efectuação de simulações numéricas dos principais componentes em situações críticas de modo a que o seu dimensionamento seja correto. Quanto à montagem, resolve-se com especial atenção aquando a ligação de diferentes componentes do motociclo, garantindo que estes permaneçam devidamente ligados.

A dificuldade de controlo pode acontecer devido a difícil acesso aos controlos por parte do condutor, que se resolve com o estudo ergonómico de modo a garantir que todos os controlos sejam facilmente acessíveis. Ou pode ser causada também se a ligação entre o acelerador e o motor não seja realizada da melhor forma, fazendo com que a deposição de potência na estrada não ocorra de acordo com o que é pretendido por parte do condutor. Esta é resolvida através da incorporação de um controlador que liga o acelerador ao motor, controlando devidamente a potência eléctrica a este aplicada e dando a possibilidade de ser programada, fazendo com que a forma das curvas de potência e binário assumam uma forma que torne fluida a comunicação entre o condutor e o motor.

No que toca a falhas maiores têm-se falhas envolvendo ambas as arrumações e o desconforto do condutor. Onde esta última se deve novamente a mau dimensionamento do motociclo onde o condutor tem que adaptar uma postura desconfortável de modo a conseguir operar o veículo. Utilizando um estudo ergonómico durante o dimensionamento do veículo impede que tais falhas aconteçam. Quanto à possível falha na arrumação superior, esta é o facto se não for possível colocar o capacete no armazenamento ou que este não caiba, retirando a principal funcionalidade deste componente. De modo a evitar isto, deve-se, aquando o dimensionamento da abertura, garantir que um capacete de dimensões comuns possa sair e entrar deste compartimento, assim como garantir que este lá caiba e que não intercepte nenhum outro componente.

As falhas menores são aquelas que apesar de não serem extremamente importantes, convém preveni-las no desenvolvimento do produto, garantindo a este o máximo sucesso possível. A falha menor descrita na tabela da figura 2.3 é uma falha relativa ao *design* do veículo devido a más escolhas durante o *design* do veículo ou por má interpretação do estilo pretendido pelo público alvo. Aqui o estudo de mercado torna-se imprescindível ao sucesso do veículo, pois se este não for comprado não adianta que cumpra todas as suas funções. É crucial ter um público alvo bem definido e tê-lo em conta durante o processo de desenvolvimento do produto.

Capítulo 3

Modelo de detalhe

3.1 Medidas características

Para dar dimensões ao conceito previamente realizado é necessário conhecer algumas dimensões imprescindíveis ao desenvolvimento de qualquer motociclo, tais como: ângulo da coluna de direcção, rasto, distância entre eixos, altura do assento e distância ao solo. A figura 3.1 ajuda na compreensão de algumas destas dimensões.

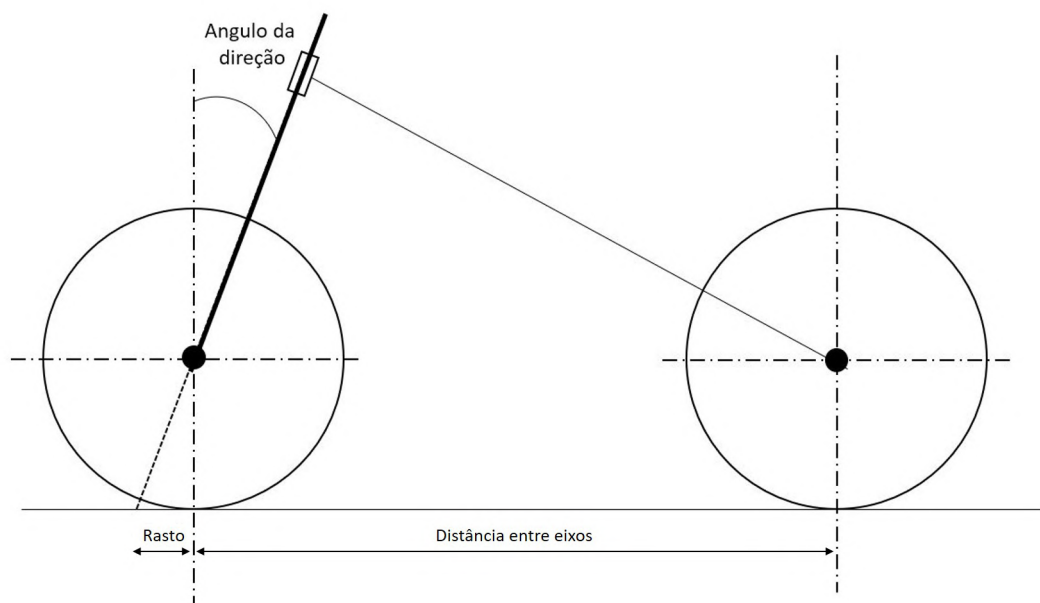


Figura 3.1: Esquema das medidas importantes no motociclo [25].

3.1.1 Ângulo da coluna de direção e rasto

O ângulo da coluna de direção indica o ângulo formado entre o eixo vertical da roda dianteira e o eixo da coluna de direção. Este ângulo causa alterações no rasto frontal do motociclo, sendo este a distância entre o eixo vertical da roda frontal e o ponto onde a continuação do eixo da direção intercepta o chão. A alteração do ângulo de direção, e a consecutiva alteração do rasto, alteram bastante o comportamento do veículo, modificando características de ciclística como a estabilidade e a resistência do motociclo a alterações de direção.

Um rasto elevado faz com que o motociclo tenha elevada estabilidade em linha reta, mas consequentemente, faz com que a estabilidade a altas velocidades e a resistência de alteração de direção aumente, daí motociclos com esta característica sejam utilizados para lazer e em estrada aberta, como é o caso das motos do estilo *cruiser* e *chopper*. No entanto, quando um motociclo apresenta um baixo valor de rasto, este apresenta facilidade em alteração de direção, mas por outro lado faz com que a travagem brusca tenda a levantar a roda traseira devido à proximidade do centro de massa ao eixo da frente, mas este acontecimento também tem influência da distância entre eixos como iremos analisar posteriormente. Esta agilidade faz com que um baixo valor de rasto seja utilizado em motos desportivas fazendo estas mais capazes em curva [25] [26] [28].

3.1.2 Distância entre eixos

A distância entre eixos é simplesmente a distância entre os eixos das rodas dianteira e traseira do motociclo. Esta distância é deveras importante pois o comportamento do motociclo está bastante dependente desta, principalmente devido à variação da distância entre cada roda ao centro de gravidade do conjunto motociclo-condutor. Se o ângulo da direção de um motociclo for aumentado este faz com que o rasto aumente, que por sua vez, faz com que a distância entre eixos aumente também, que, neste caso, faz com que a distância entre o eixo dianteiro e o centro de gravidade aumente, fazendo o motociclo mais estável em travagens bruscas evitando que este levante a roda traseira do chão. Contrariamente, se o tamanho da escora for reduzido a distância entre eixos é reduzida e por sua vez reduz a distância entre o eixo traseiro e o centro de gravidade, fazendo com que o motociclo seja mais propício a elevar a roda frontal do solo aquando uma aceleração brusca [25].

3.1.3 Altura do assento

A altura do assento é a altura a que o condutor está sentado durante a condução do motociclo. Esta medida é verdadeiramente ergonómica, pois é muito baseada nas medidas do corpo humano. Esta medida indica se é fácil para o condutor se montar e sair do motociclo, mas também tem uma grande importância no comportamento do veículo.

Sendo o condutor grande parte do peso do conjunto condutor-motociclo, quando é alterada a altura a que o este está sentado, o centro de gravidade do conjunto é deveras alterado, que por consequência altera também a ciclística do motociclo. Uma elevada altura do assento permite boa visibilidade e conforto durante a condução, sendo aplicado em motociclos de todo-o-terreno e em *supermotos*. Enquanto motos com baixos valores de altura do assento são normalmente desportivas, pois fazem com que o centro de massa

do conjunto condutor-motociclo baixe, melhorando muito a estabilidade do veículo em curva assim como a redução da resistência à alteração de direção.

3.1.4 Distância ao solo

A distância do veículo ao solo é a distância entre o solo e o componente mais próximo deste. Basicamente resume-se à distância de segurança que permite ao motociclo passar por obstáculos, evitando que estes colidam com algum componente do motociclo prevenindo assim estragos. Uma distância ao solo elevada permite a um motociclo ultrapassar obstáculos como pedras ou lancis de passeio, sem que o condutor se tenha que preocupar com estragos causados no veículo. Os motociclos de todo-o-terreno e as *super motos* apresentam elevados valores de distância ao solo, enquanto motos desportivas apresentam baixos valores de modo a, novamente, reduzir o centro de massa melhorando assim a performance em curva.

3.2 Primeiro modelo em CAD

Com a idealização do conceito bem estruturada, foi possível fazer a transição de desenho em papel para o desenho digital utilizando o programa fornecido pela UA, o *SolidWorks 2019*. Com a utilização de design gráfico, a visualização do conceito é melhorada exponencialmente, devido principalmente ao facto de ser um modelo 3D onde o objecto pode ser rodado em todas as direcções possibilitando infinitos pontos de vista sobre o objecto a ser trabalhado. Uma outra razão que melhora também bastante a visualização do conceito é as capacidades de desenho manual em papel do desenhador, pois desenhar em papel um motociclo de forma rigorosa em 3D não é fácil e é deveras trabalhoso para a maioria das pessoas. Onde pessoalmente, possuo muito mais formação a nível de desenho digital do que a nível manual.



Figura 3.2: Primeiro desenho na forma digital.

O primeiro desenho na forma digital é literalmente os *sketches* realizados anteriormente em papel passados para a forma digital não havendo alterações em nenhum dos seus componentes. Sendo que este modelo foi feito sem projecto de detalhe, estando apresentado de uma forma um pouco rudimentar, pois a sua função é avaliar apenas de forma macroscópica o *design* desenvolvido até então.

A figura 3.2 mostra o primeiro modelo desenvolvido, onde se pode visualizar pela primeira vez o conceito na forma digital. Como referido anteriormente o objectivo deste modelo seria apenas avaliar as principais curvas

do *design* desenvolvido, de modo a analisar que principais alterações devem ser tomadas.

As principais formas do motociclo foram avaliadas positivamente, no entanto, se antes havia a dúvida se o espaço central iria ser usado para arrumações definitivas agora tem-se a certeza que sim, pois não é visualmente apelativo o espaço central não ser utilizado de forma alguma. Outra alteração que se pode realizar seguidamente é a forma do farol dianteiro, pois este também apresenta uma forma pouco apelativa.

Futuramente uma vista traseira do veículo terá de ser trabalhada, pois nos desenhos iniciais só se projetou as vistas frontais do motociclo, sendo já observável que a forma do apoio do selim apresenta uma geometria muito pouco natural precisando de *re-design*. Bem como a suavização das curvas do quadro e de alguns outros componentes terá que se ter em conta.

Também a roda da frente terá que ser modelada "de raiz", pois a que é visível na figura 3.2 é um modelo genérico utilizado apenas para uma rápida visualização das curvas do desenho na forma digital.

3.3 Segunda iteração do modelo

Na figura 3.3 tem-se um melhoramento do modelo apresentado anteriormente, onde se realizou as alterações referidas no subcapítulo anterior e também se utilizou técnicas de fotorrealismo para uma melhor avaliação do conceito: aplicando-se uma imagem de fundo com respetiva iluminação do cenário e introdução de texturas nas diversas superfícies do modelo facilitando a avaliação do mesmo.



Figura 3.3: Segunda iteração do conceito em CAD.

Mesmo sendo uma versão melhorada da anterior, continua a ser uma versão repleta de futuras alterações a realizar antes de se começar o projeto final. O farol dianteiro continua esteticamente pouco apelativo com a sua forma triangular. Esta forma foi-lhe

dada inicialmente de modo a que a forma triangular esteja presente em diversos locais do veículo, pois esta forma está demonstrada de forma muito definida no quadro do motociclo.

Na iteração anterior notou-se que as linhas do quadro estavam definidas de forma demasiado reta, necessitando de uma suavização de modo a que o modelo apresente uma forma mais orgânica. No entanto, mesmo após alguma suavização, o modelo ainda requer linhas mais curvas, sendo uma das principais alterações a realizar na próxima iteração.



Figura 3.4: Vista posterior da segunda iteração do modelo em CAD.

Na figura 3.4 tem-se uma vista posterior da iteração do modelo em CAD. Onde se vê a primeira iteração do farol traseiro localizado debaixo do selim.

A perspectiva do *render* não é a mais favorável, pois o motociclo parece demasiado inclinado para trás, dando a ideia que teria uma má posição de condução para o seu utilizador. No entanto, a forma de como o utilizador está sentado no motociclo terá de ser explorada, refazendo a região de selim do veículo em futuras iterações.

Nesta iteração já está presente uma primeira forma de suspensão traseira estando localizada na zona central do motociclo. Sendo uma mono-suspensão central semelhante aos conceitos de supermoto, apresentando uma estética apelativa, minimalista e completamente funcional.

Na figura 3.5 está presente uma vista lateral desta iteração onde se pode rever a forma do modelo. Notando-se que a forma de "Z" está demasiado definida na estrutura do motociclo, mas bastante positivo mesmo assim.

Outra correção necessária que se pode notar na figura 3.5 é a distância entre o guardalamas traseiro e o farol traseiro, havendo muito pouco espaço para o amortecimento da

suspensão.



Figura 3.5: Vista lateral da segunda iteração do modelo em CAD.



Figura 3.6: Quadro da segunda iteração do conceito.

quadro está demasiado rectilínea, que por um lado positivo é uma linha simplista, por outro lado é pouco orgânica e pouco "trabalhada", oferecendo um ar rudimentar a esta zona do veículo.

Na figura 3.6 está exposto apenas o quadro do motociclo na sua segunda iteração. Sendo o quadro de um motociclo o seu principal componente, a sua forma é crucial ao *design* do veículo. Nesta figura expõe-se de forma mais clara as arestas demasiado rectilíneas deste componente. Tal como se disse anteriormente, o processo de suavização de curvas do modelo terá que ser levado muito em conta em futuras modelações. Pois formas mais orgânicas tornam-se de certo modo mais apelativas ao comprador. Onde é facilmente notável que a linha de topo do

3.4 Estudo da modelação do selim

Como é observável na figura 3.5 a forma de como que o selim está posicionado no motociclo, tem por consequência a existência de pouco espaço entre o farol traseiro e o guarda-lama traseiro. Não dando possibilidade de haver um curso normal na suspensão traseira. De modo a explorar soluções, optou-se por refazer esta parte do veículo, criando várias versões acabando-se por seleccionar a melhor.



Figura 3.7: Diferentes versões do selim do motociclo.

Na figura 3.7 tem-se 3 versões diferentes do selim do motociclo. O motociclo à direita é a iteração anterior, enquanto à esquerda tem-se uma iteração onde o selim está ligado ao restante motociclo por uma estrutura tubular. Este modelo foi elaborado tendo em consideração um visual alternativo e futurista, mas simultaneamente dando a possibilidade de uma boa posição de condução. No centro tem-se um modelo com um selim mais convencional, dando origem a uma união entre o selim e o quadro mais apelativa que as restantes.

Na figura 3.8 tem-se em maior destaque o modelo abordado anteriormente. As vantagens deste modelo são a sua originalidade e visual futurista. No entanto, as suas vantagens acabam por ser também as suas desvantagens, pois este *design* apresenta um processo de fabrico mais caro e tem um visual arriscado que pode criar opiniões distintas no público alvo.

O facto do selim estar de certo modo suspenso do resto do veículo, cria um visual bastante original, mas onde essa mesma estrutura que o mantém suspenso dificulta a montagem do veículo, pois essa estrutura tubular teria que ser soldada à base do selim assim como no quadro, levando a um grande aumento de mão de obra no processo de montagem, elevando assim os custos.

No entanto, o problema que levou à criação de novos modelos de selim ficou aqui resolvido. Havendo mais espaço para o curso de suspensão. Mas com essa solução levantou-se outro problema: a estrutura tubular dificulta a incorporação de um guarda-lama traseiro. Passando-se assim para uma nova solução.



Figura 3.8: Vista lateral do modelo alternativo.

Na figura 3.9 está presente o *design* final atribuído ao selim do motociclo. Neste modelo já não existem os problemas referidos anteriormente, quer a suspensão traseira quer o guarda-lama são possíveis de incorporar. Sendo por um lado um visual banal, mostra uma posição de condução onde o utilizador está sentado com uma boa postura, estando confortável e com fácil acesso aos controlos do veículo.



Figura 3.9: Estilo de selim selecionado.

3.5 Estudo do tipo de suspensão a utilizar

Na fase de escolhas de projecto não se colocou em causa o tipo de suspensão dianteira a utilizar, pois seria deveras mais fácil fazer esse estudo durante a modelação 3D. O tipo de suspensão pode ser invertida ou convencional, podendo ser esta dupla ou mono-braço. Onde uma suspensão invertida tem o curso na parte inferior da mesma, ao contrário de uma suspensão convencional. Enquanto o facto de ser dupla ou mono-braço é referido ao número de apoios presentes na roda frontal. Isto é, se a roda é apoiada dos dois lados, como é comum, ou se é apoiada apenas de um dos lados, semelhante a uma escora mono-braço já referida anteriormente.

Quer o facto de um motociclo possuir uma suspensão invertida ou mono-braço, ambas as características fazem com que o veículo apresente um estilo mais futurista e simplista, devido à remoção do volume dos componentes, assim como a aplicação de um componente fora do comum. Por estes mesmos factores se põe agora em causa se se deveria utilizar uma suspensão com estas características ou não, pois a simplicidade e *design* futurista são características desejáveis no projecto.

Porém, estas características também apresentam desvantagens obviamente. Não só são mais difíceis de encontrar modelos deste tipo de suspensão no mercado, logo aí aumentando o seu preço, como a preparação do motociclo para receber este tipo de suspensões também aumenta em complexidade. Mais no caso de suspensão mono-braço, onde é necessário realizar o estudo do momento sobre o eixo horizontal na direcção longitudinal do motociclo. Pois, só havendo um apoio na roda, é causado um momento

devido à distância entre a posição horizontal transversal e o centro de massa do veículo, e como uma suspensão frontal é um componente muito menos robusto que a escora, torna-se mais complicada esta aplicação na roda dianteira do que na roda traseira.

3.6 *Design* Funcional

Design funcional consiste, como o próprio nome indica, em projectar um componente tendo como principal objetivo a sua funcionalidade. Não só fazer com que esta seja possível, mas também que seja o mais simples possível de modo a reduzir custos de montagem durante a produção e facilitar a manutenção do produto caso seja necessário.

O *design* funcional é crucial no desenvolvimento de qualquer componente que seja mais funcional do que estético, e onde esta função é muito importante para o funcionamento do produto como um todo.

No caso desta dissertação, ou em qualquer projecto de um veículo, o *design* funcional desempenha um papel crucial no desenvolvimento deste tipo de produtos, devido principalmente à existência de inúmeros componentes mecânicos que desempenham funções deveras importantes no funcionamento do veículo. Mas também devido a estes componentes mecânicos muitas vezes serem alvo de manutenções regulares, o que torna o seu fácil acesso muito benevolente. Reduzindo custos futuros de mão de obra aquando a necessidade de manutenção, e permitindo, por vezes, que a manutenção seja realizada pelo próprio utilizador devido à sua elevada simplicidade.

3.6.1 Compartmento de arrumação do capacete



Figura 3.10: Compartmento para o capacete.

Foi definido inicialmente que a arrumação superior seria destinada principalmente ao arrumo do capacete do condutor, havendo também espaço para pequenos objectos. Assim, de modo a ser possível colocar o capacete no interior do compartimento, é necessário que este tenha uma abertura que o permita. Sendo que a opção mais simples

é dividir o componente em duas partes, que uma delas se torne a tampa e encaixe na outra através de uma dobradiça.

Como se observa na imagem da figura 3.10 a dobradiça permite que o componente que forma a tampa se eleve o suficiente de modo a colocar o capacete no interior do compartimento.

De modo a que um capacete integral pudesse ser alojado neste compartimento, teve-se que criar um sub-compartimento em baixo da forma que normalmente é um depósito de combustível, este assume uma forma rectangular de modo a encaixar no quadro e servir em simultâneo de apoio à montagem do segundo compartimento de arrumação que se localiza abaixo deste.



Figura 3.11: Compartimento para o capacete em vista de corte.

Como se pode observar na imagem da figura 3.11, o capacete cabe com pouca margem no compartimento, isto devido ao facto que se se aumentar mais a altura deste volume, uma de duas opções tem de ser realizada: ou se aumenta a altura da parte superior do compartimento tornando a forma de depósito demasiado alta, ou se baixa o sub-compartimento inferior fazendo com que este se torne visível no motociclo prejudicando o seu aspecto visual. No entanto, o capacete mostrado na figura é um capacete de dimensões comuns.

Para além do capacete ainda há espaço para mais alguns pequenos objectos que o condutor pretenda aqui armazenar, sendo um sítio onde o acesso é possível enquanto se está montado no veículo, não havendo necessidade que o condutor esteja fora do veículo, havendo apenas a necessidade que este esteja parado.

De forma a que o compartimento fosse composto por duas peças e que estas pudessem ser montadas posteriormente, teve-se que ter alguma cautela aquando a divisão entre a tampa e o componente inferior. Havendo a necessidade de incorporar uma dobradiça que permita uma abertura ampla o suficiente para a colocação do capacete. Como se pode observar na imagem da figura 3.12, a posição da dobradiça foi colocada atrás de modo a não interferir com a volumetria do compartimento e foi colocada o mais baixo possível para permitir a abertura sem a que haja intersecção entre os dois componentes.

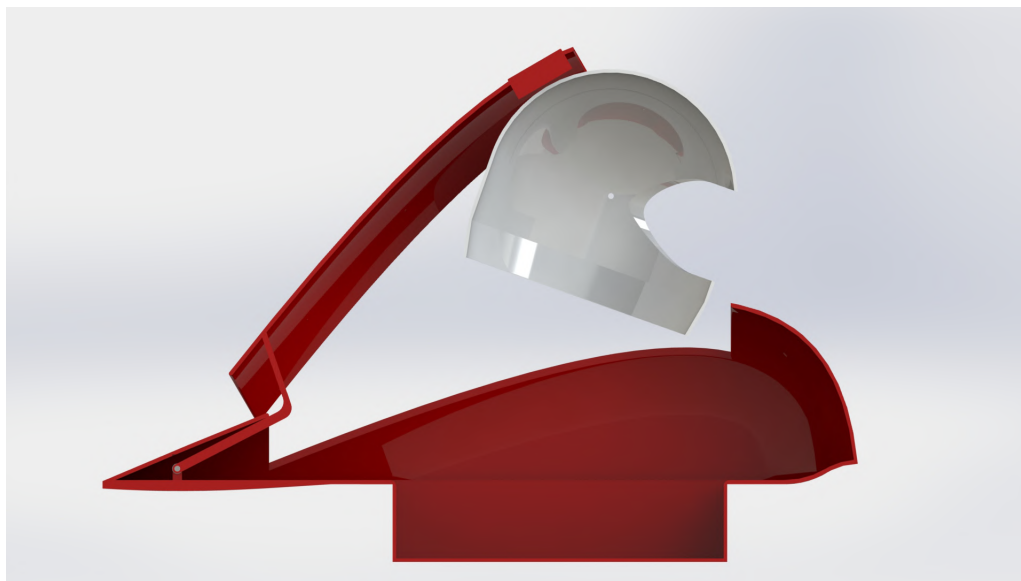


Figura 3.12: Compartimento para o capacete em vista de corte.

Observa-se também que é possível passar o capacete na abertura do compartimento sem intersectar nenhum dos outros componentes, permitindo que este seja colocado com facilidade.

A montagem dos dois componentes que compõem este compartimento consiste num parafuso M6 de 55 milímetros de norma ISO 4016 que simultaneamente serve de eixo para a tampa puder abrir. Este parafuso enrosca apenas no segundo suporte do componente inferior, sendo liso no primeiro suporte assim como no braço da tampa. Para além do parafuso, utilizam-se 3 anilhas planas de norma ISO 7092 para evitar o contacto de componentes do mesmo material e tornar o funcionamento do eixo mais suave.



Figura 3.13: Compartimento para o capacete em vista de corte.

Quanto à união do conjunto com o restante veículo, é feita através de 4 veios roscados soldados no quadro, passando por 4 furos na peça inferior do compartimento e sendo apertados por 4 porcas hexagonais M5 de norma ISO 4032 em conjunto com anilhas planas de norma ISO 7092. Os veios roscados são soldados no quadro nas barras laterais, sendo que são estas barras que servem de suporte para o conjunto. A imagem da figura 3.14 mostra a localização onde é feito o aperto [29].

Os veios tiveram que ser incorporados no quadro pois as barras laterais não têm espessura suficiente para se formar um furo roscado e colocar o parafuso posteriormente. Essa opção seria mais facilmente incorporada mas devido à baixa espessura não é possível.

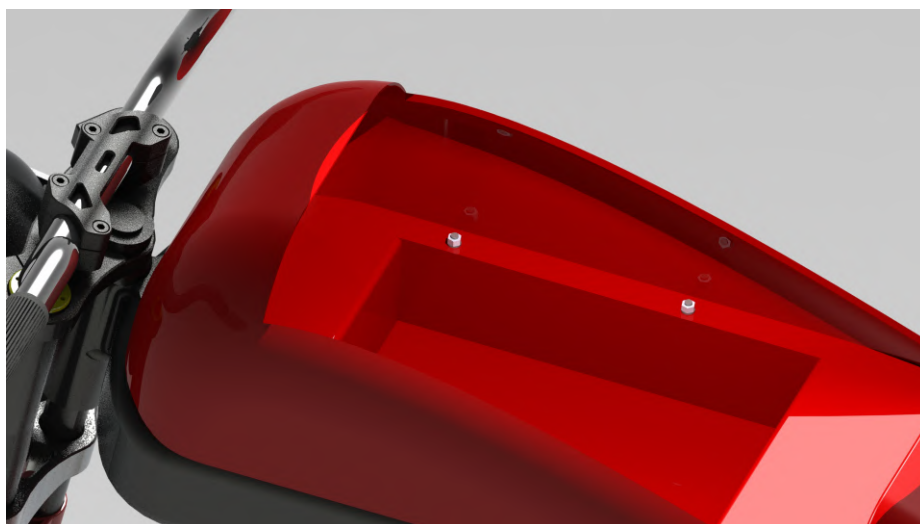


Figura 3.14: Compartimento para o capacete em vista de corte.

3.6.2 *Design* funcional nas baterias

A estrutura que suporta as baterias tem que ser incorporada firmemente no veículo, pois o conjunto de baterias resulta num peso considerável. Assim, esta estrutura é fixa por encaixe na parte inferior do quadro e fixa por dois parafusos M8 na parte superior do mesmo. Devido ao mesmo problema que anteriormente aconteceu na fixação do armazenamento superior, a espessura do quadro é demasiado baixa para formar um furo roscado, então neste caso recorreu-se à soldadura de um cilindro e fazer o furo neste. A figura mostra este aperto na zona superior do quadro.

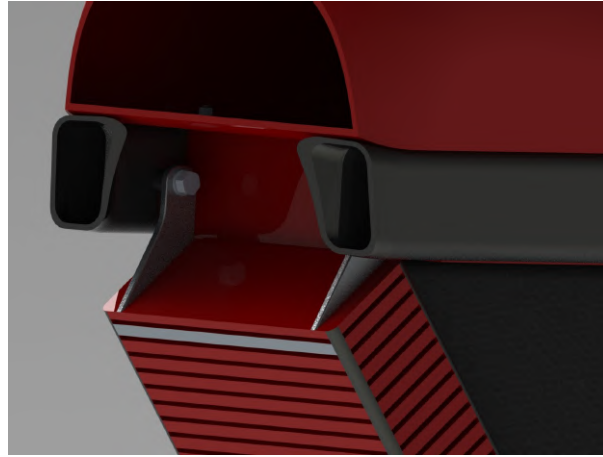


Figura 3.15: Aperto superior da estrutura das baterias.

Quanto ao encaixe da parte inferior desta estrutura, o quadro apresenta dois furos simétricos que correspondem aos pernos da estrutura de modo a encaixar firmemente. A figura 3.16 mostra este encaixe em vista de corte de um destes encaixes.

Quanto à secção central da estrutura, esta apresenta a forma idêntica à forma cilíndrica da escora onde esta última encaixa no quadro, dando folga para que a escora não coincida com este componente aquando a operação da suspensão traseira.

O processo de montagem é simples, começa com o encaixe na parte inferior e só depois o aperto superior. No entanto, sendo a estrutura das baterias um componente de grandes dimensões, outros componentes têm de ser removidos para que a montagem deste seja possível. Numa primeira montagem, este componente deve ser um dos primeiros a ser colocado no quadro, mas em casos de desmontagem devido a manutenção, a forma mais simples de o colocar é retirando ambos os compartimentos de arrumação, possibilitando a descida do componente desde cima do quadro. Sem retirar os compartimentos de arrumação esta tarefa torna-se muito difícil devido à suspensão e a roda frontal estarem a interferir.

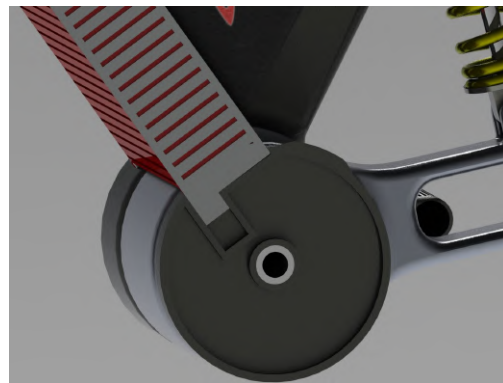


Figura 3.16: Vista em corte do encaixe inferior da estrutura das baterias.

3.7 Análise ergonómica

Como se verificou em capítulos anteriores, a análise ergonómica é uma tarefa que deve estar presente ao longo de todo o desenvolvimento do projecto, fazendo com que todas as dimensões estejam de acordo com as medidas do utilizador proporcionando uma utilização fácil e confortável. Onde até aqui foi utilizada uma delineação das dimensões do corpo humano, incorporado no programa de modelação apenas na forma de *sketch*, agora é preciso uma ferramenta mais significativa de modo a estudar a ergonomia do motociclo.

Com a utilização de um *dummy* é possível fazer a interação entre o motociclo sendo desenvolvido e as medidas do corpo humano, havendo assim um meio de comparação para verificar a ergonomia do motociclo. O *dummy* utilizado está representado na figura 3.17, onde estão presentes as principais dimensões deste. Apresentando uma altura de, aproximadamente, 1,83 metros.

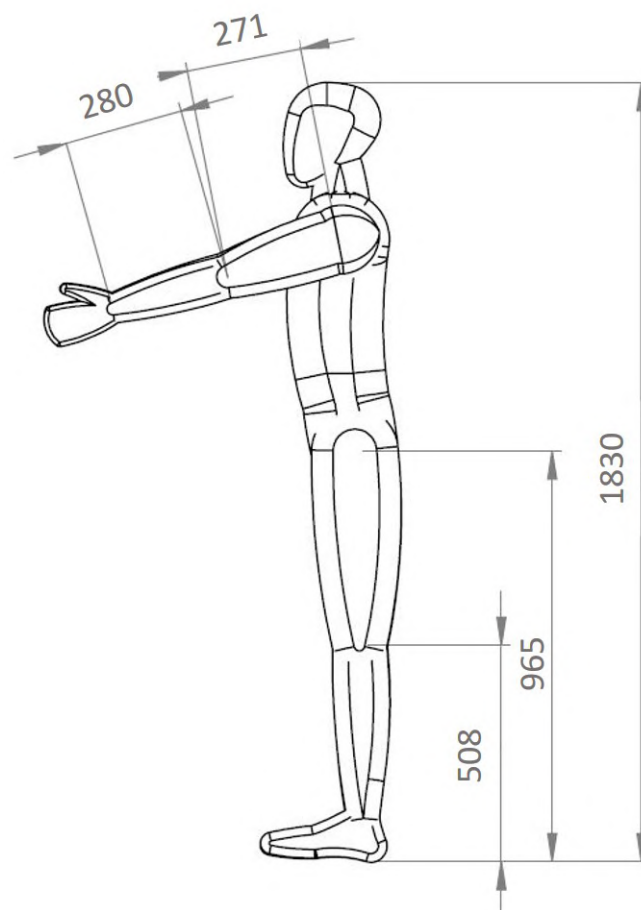


Figura 3.17: Dimensões, em milímetros, do *dummy* utilizado.

Torna-se imprescindível a utilização de um modelo deste tipo, pois apenas com uma delineação em desenho não é tão fácil estudar as posições de utilização. Como este modelo é completamente articulado, à semelhança das articulações reais de um ser humano, torna-se possível interagir com este estudando as várias posições necessárias durante a utilização do motociclo, assim como o melhoramento de certas partes do veículo de modo a tornar estas posições mais ergonómicas ao seu utilizador.

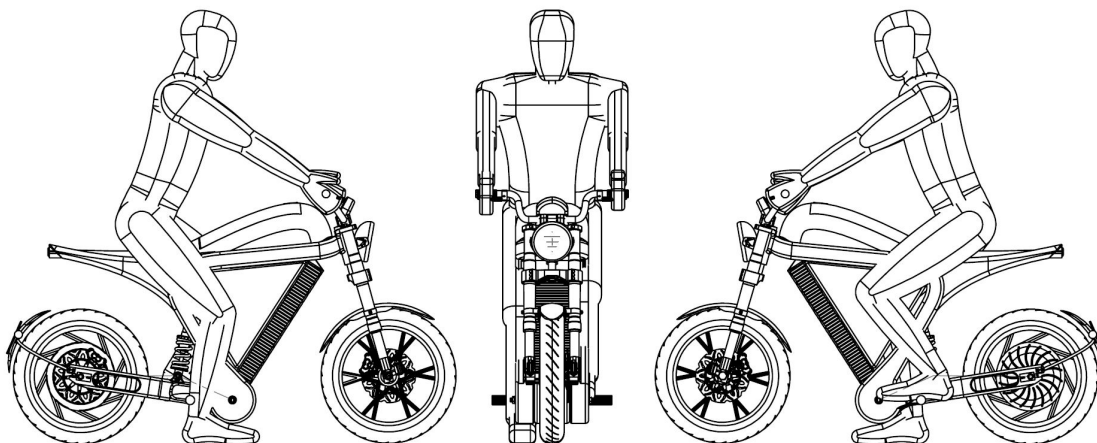


Figura 3.18: Posição de utilização do motociclo.

Na figura 3.18 tem-se a posição de utilização onde o condutor e o motociclo estão parados, tendo o utilizador um pé no apoio do motociclo e o outro no chão. Esta posição permite obter a análise ergonómica em várias zonas do motociclo, tais como:

- Flexão da perna que está apoiada no apoio do motociclo - o ângulo de flexão da perna que está apoiada no motociclo indica-nos de certa forma o desempenho ergonómico da utilização deste motociclo quanto ao conforto em função do tempo de utilização. Caso o ângulo seja muito agudo torna-se desconfortável em viagens longas, como é o caso dos motociclos desportivos. E caso seja um ângulo muito obtuso fará com que o condutor esteja numa posição muito vertical fazendo com que a altura a esteja sentado seja demasiado elevada, retirando o propósito do veículo;
- Postura da perna que toca no chão - como o condutor tem acesso de colocar um pé no chão também está relacionada com a altura do assento, indicando a facilidade com que uma pessoa possa conduzir o motociclo, pois, motociclos de assento alto fazem normalmente com que condutores inexperientes tenham receio de o conduzir;
- Análise da postura do tronco (ângulo entre a coluna vertebral e o plano horizontal) - à semelhança da flexão das pernas nos apoios dos pés, o ângulo que o tronco do condutor faz com o plano horizontal também indica o conforto do condutor ao longo de uma utilização de algum tempo. Pois, quanto mais inclinado para a frente o condutor estiver mais esforço este coloca nos braços assim como nos músculos lombares;

- Acesso ao guidador - o guidador é o componente que incorpora quase todos os controles do veículo, assim, o acesso a estes por parte do condutor é deveras importante. Mas este depende da posição de condução, sendo esta condicionada pela altura do guidador assim como a sua inclinação relativamente ao plano vertical.



Figura 3.19: Renderização do motociclo com o *dummy* na posição de condução.

A utilização do *dummy* também auxiliou, passivamente, na percepção da escala do motociclo. Pois, para além das dimensões ergonómicas e funcionais deste, determinadas volumetrias refletem em parte o estilo deste modelo, podendo assim o *dummy* auxiliar na alteração de certas partes em que se ache que o seu dimensionamento estético é desadequado. Utilizando imagens como a figura 3.19 e 3.20 foi possível dimensionar determinadas partes estéticas do modelo, como a zona do selim ou do farol, por exemplo.

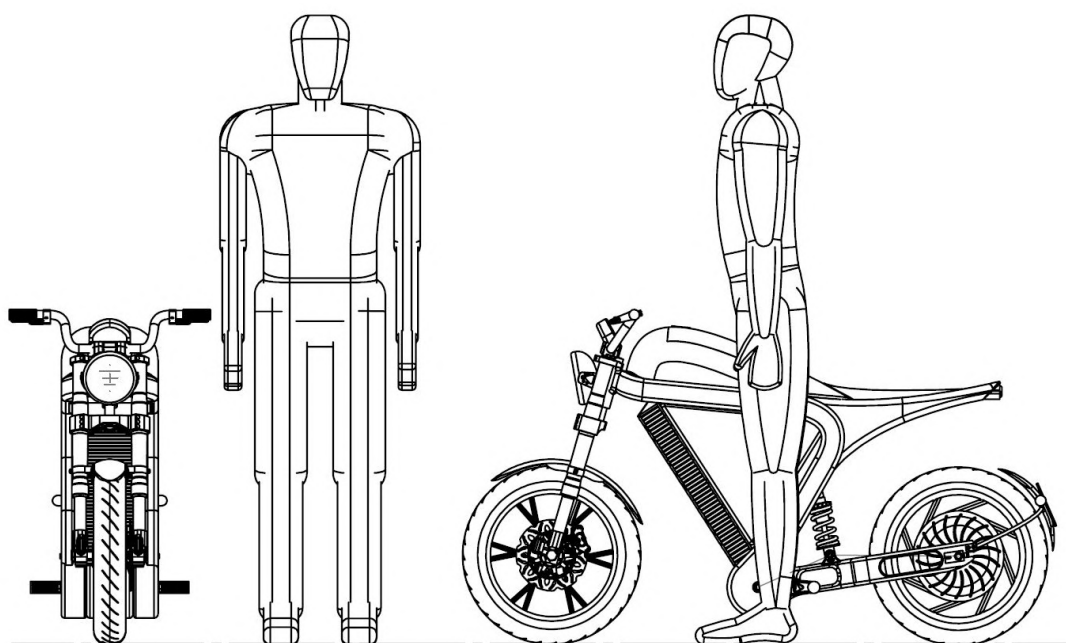


Figura 3.20: *Dummy* ao lado do motociclo para perspetiva de escala.

Na figura 3.20 é perceptível a facilidade com que o utilizador pode assumir a postura de condução, sentando-se num selim que está a uma altura perfeitamente acessível a um utilizador comum. No entanto, a altura do selim não é baixa demais com que torne a posição de condução desconfortável com o excesso de flexão das pernas do condutor, tal como foi falado anteriormente em relação às consequências de uma altura de selim desadequada.

Esquemas como estes foram muito úteis no decorrer da modelação de partes que requeriam um estudo ergonómico e estético da mesmas.

Capítulo 4

Estudo estrutural

Para garantir um bom desempenho do motociclo, terão de ser realizados cálculos estruturais na forma de simulações numéricas. De modo a comprovar que os componentes desenvolvidos nesta dissertação são capazes de realizar as tarefas para que foram desenvolvidos primeiramente.

Os componentes a simular são apenas aqueles que são originais no veículo, não havendo a necessidade de simular um produto já presente no mercado, tendo somente que haver cautela na sua selecção. Assim, os componentes que têm de ser simulados são o quadro e a escora. Onde serão confrontados com cargas que equivalem ao carregamento máximo do determinado componente durante a sua utilização.

Estes ensaios têm um cariz funcional mas simultaneamente apresentam também um cariz de optimização, pois quer-se primeiramente que o componente seja funcional aquando sujeito às cargas críticas durante o seu funcionamento, mas também se quer que os componentes sejam dotados do mínimo material. De modo a não só reduzir peso nos componentes melhorando o desempenho do veículo, mas também na redução de material nas peças fabricadas por vias de molde.

Para realizar as simulações anteriormente referidas utilizou-se o *SolidWorks Simulation*. Facilitando deveras o trabalho de simulação destes componentes, pois as simulações realizam-se no mesmo programa que a modelação, possibilitando assim rápidos ajustes nas peças e voltar a ensaiar de novo para retirar novos resultados, tornando o processo de optimização muito eficaz.

Sendo o componente mais importante desenvolvido nesta dissertação, a simulação do quadro torna-se imprescindível, pois não só é o componente que agrega todos os outros, mas também sofre imensas cargas ao fazê-lo. E sendo um componente de elevadas dimensões, a sua massa será também relevante neste estudo, assim, a sua optimização de material utilizado terá que ser tida em conta nestas simulações numéricas. Só após estes ensaios mecânicos se comprova que é possível o veículo cumprir os requisitos de funcionamento, assim como se tornar um componente optimizado sem excessos de material.

Vários ensaios devem ser realizados de modo a simular as várias situações onde há cargas críticas nestes componentes. Sendo cada uma destas situações analisada separadamente. Sendo estas:

- Travagem intensa: onde quase todo o peso é transferido para a roda dianteira, e a força de travagem é transferida da roda dianteira para o suporte da suspensão, causando elevadas cargas nesta região do quadro;

- Aceleração intensa: onde quase todo o peso é transferido para a roda traseira colocando elevadas cargas nos apoios da suspensão traseira;
- Ensaio dos apoios dos pés: situação onde todo o peso do condutor está localizado em apenas um dos apoios;

4.1 Materiais

Para se realizar simulações numéricas têm de ser conhecidas as propriedades físicas dos componentes em questão, pois estes valores são cruciais para que a unidade de processamento possa calcular tensões e deslocamentos durante o ensaio. Assim, tem que se seleccionar um material para o quadro e para a escora que tenha presente um bom balanço entre resistência mecânica e densidade, sendo capaz de cumprir os requisitos funcionais mas que não torne os componentes demasiado pesados.

Dos conjuntos de materiais possíveis de utilizar nestes componentes, o alumínio é sem dúvida o que mostra as capacidades mais propícias, pois é um material que apresenta uma densidade baixa para um metal e simultaneamente tem uma grande gama de ligas a seleccionar onde há diversos valores de resistência mecânica, havendo ligas de elevada resistência.

Primeiramente deve ser realizada uma pesquisa acerca dos tipos de ligas mais comuns de se utilizar em quadros de motociclos e bicicletas, pois de modo a reduzir os custos de fabrico, é importante seleccionar um material que seja abundante neste mercado [28].

O alumínio na sua forma pura tem pouca utilidade em situações onde existe cargas consideráveis aplicadas, sendo que o alumínio é um material extremamente pouco denso para um metal, mas que na sua forma pura apresenta níveis de resistência mecânica abaixo dos outros metais de comum utilização como o ferro ou o aço. Assim nasceram as ligas de alumínio, onde se adiciona outros elementos metálicos de modo a colmatar as falhas em resistência mecânica do alumínio puro, formando uma liga com novas características no seu comportamento mecânico, onde até 15% da sua massa pode ser composta por estes elementos adicionados. Conforme os elementos adicionados aquando a fundição do alumínio e os tratamentos térmicos aplicados posteriormente, a liga é classificada com um número de quatro dígitos, sendo que o primeiro dígito é o mais importante, representando a classe da liga identificando os elementos utilizados na sua fundição. De todas as classes de ligas de alumínio existentes, a mais comum é a classe 6000. Sendo utilizada em carroçarias de diversos tipos de veículos, devido à sua versatilidade, resistência à corrosão e mecânica e acima de tudo, o facto de ser facilmente soldada, o que é a desvantagem de muitas outras classes de ligas de alumínio.

Esta liga é uma liga de alumínio onde os elementos adicionados são a sílica e o magnésio, formando silício de magnésio na liga oferecendo grande resistência à corrosão e aumentando a resistência mecânica. Apresentando as características ideais para utilização em estruturas arquitectónicas e carroçarias de veículos.

Dentro da classe 6000, a liga 6061-T6 mostra-se a mais indicada para este projecto. Apresentando elevados valores de resistência mecânica, baixa densidade e elevada resistência à corrosão. Sendo uma liga que se encontra facilmente neste mercado, como em quadros de bicicleta. O sufixo "T6" refere-se ao tratamento térmico aplicado à liga, fazendo desta a liga com maior resistência mecânica dentro das ligas denominadas 6061, sendo que neste tipo de utilização é crucial valores elevados de resistência mecânica.

As características mecânicas desta liga utilizadas no ensaio foram retiradas da biblioteca do *software* utilizado, o *SolidWorks*, e são as seguintes:

- Densidade: 2700 kg/m^3 ;
- Modulo de elasticidade: 69 GPa;
- Tensão de cedência: 275 MPa;
- Tensão de ruptura: 310 MPa;
- Rácio de Poisson: 0,33;

Durante os ensaios não se irão comparar as tensões nos componentes aplicadas com a tensão de cedência, pois assim estaríamos a garantir que este ensaio seria exatamente igual àquele que aconteceria na realidade, não havendo qualquer margem de erro. Havendo então a necessidade de calcular a tensão admissível para os componentes, esta tensão é dada pela equação 4.1, onde γ é o coeficiente de segurança e σ_Y é a tensão de cedência.

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_Y}{\gamma} \quad (4.1)$$

Admitindo um coeficiente de segurança de 1,5 (50%), obtém-se uma tensão admissível de 183,3 MPa. Sendo este valor utilizado durante a análise das simulações seguintes.

4.2 Travagem intensa

Antes de se realizar o ensaio propriamente dito, tem que se saber quais as forças aplicadas ao quadro aquando a ocorrência da travagem intensa. Para tal, realiza-se um esquema do problema para melhor identificação das forças em causa.

De modo a testar o pior caso possível em termos de tensão aplicada ao quadro, assume-se que todo o peso é transferido para a roda dianteira. Assim há duas principais forças em causa no problema: a força de travagem propriamente dita, representada pela força de atrito exercida pelo pneu dianteiro, tendo sentido inverso relativamente ao deslocamento do veículo, e a força de reacção com o solo, sendo esta perpendicular ao mesmo. [25]

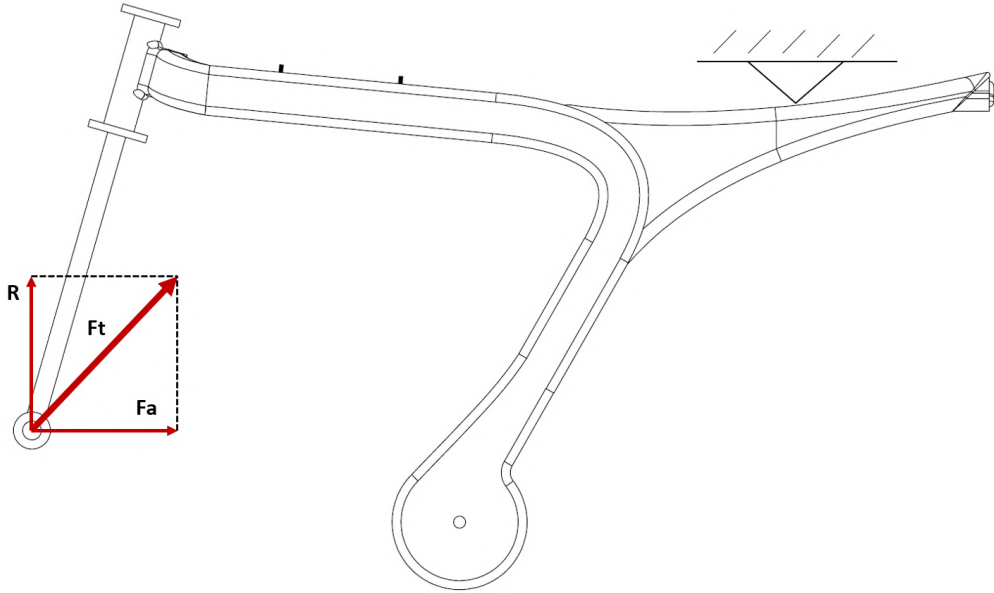


Figura 4.1: Forças aplicadas durante a travagem.

Para o cálculo da força de atrito têm de ser assumidos ambos os 2 valores a ser inseridos na equação 4.2. Onde a letra grega μ indica o valor do coeficiente de atrito, valor este que para contacto entre pneus de motociclos varia entre 0,75 e 1 [23].

$$F_a = \mu \cdot N \quad (4.2)$$

Onde, para o pior caso possível, quer-se maximizar a força de travagem de modo a colocar mais carga no quadro, seleccionando-se assim o valor de 1 para este coeficiente. A letra N representa a força normal, sendo esta igual ao peso total do conjunto motociclo-condutor como está demonstrado na equação 4.3.

$$N = P_{conj} = m \cdot g \quad (4.3)$$

Para a determinação da massa total do conjunto tem-se novamente que utilizar o pior caso possível, assumindo que o motociclo terá uma massa de 100kg, onde se espera que

esta não seja superior a 60, e que a massa do condutor seja também de 100kg, tendo-se assim uma massa total de 200kg. Utilizando a equação 4.3 tem-se um peso total de, aproximadamente, 1962 N, sendo este valor o mesmo para a força normal na reacção do solo com a roda dianteira. Temos assim as duas forças determinadas, onde estão aplicadas no eixo dianteiro uma força vertical de 1962 N e uma força horizontal com o mesmo valor [27].

Para este ensaio utilizou-se uma forqueta simplificada, pois quer-se apenas testar o quadro e não a suspensão, pois este é um componente a comprar a terceiros. Servindo esta apenas para colocar as forças no local correto assim como a interacção destas com o quadro. Assim, tornou-se a forqueta simplificada como elemento rígido, de modo a analisar as deformações no quadro apenas.

De modo a prosseguir para o ensaio resta saber quais as fixações a impor no modelo. Tendo-se concluído que a mais eficaz seria fixar a zona do quadro que suporta o selim, simulando o encosto do condutor ao selim durante a travagem. Fazendo com que as forças aplicadas na zona frontal do quadro sejam exercidas com a zona traseira imóvel.

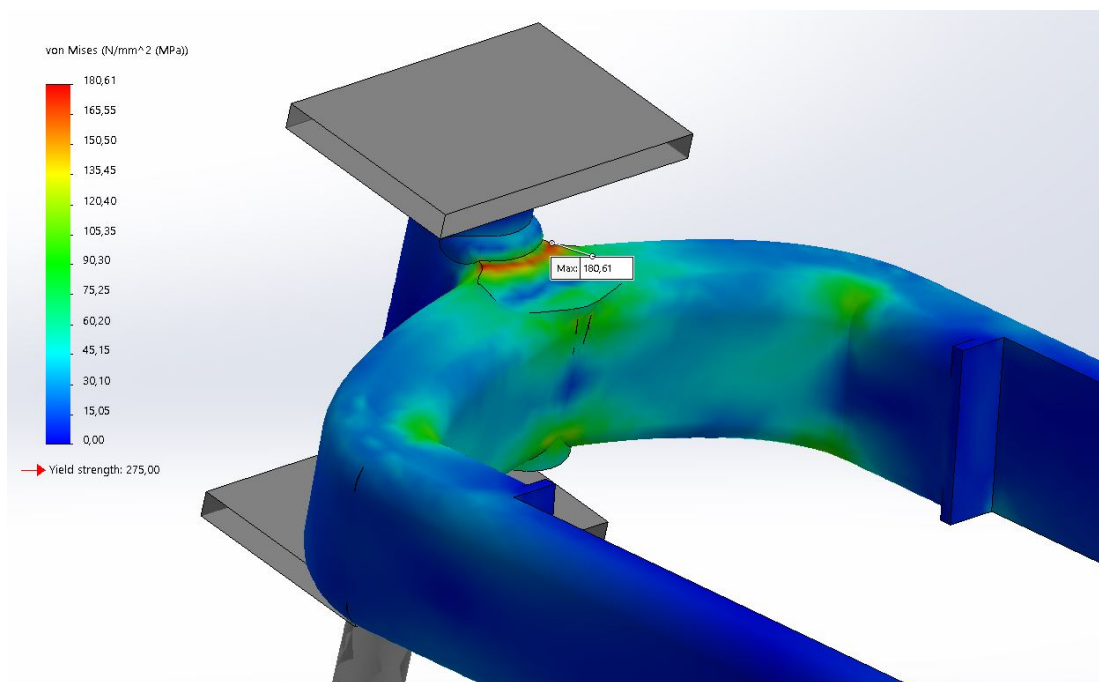


Figura 4.2: Tensão no quadro aquando a travagem.

Como seria de esperar as tensões máximas neste ensaio são em torno da coluna de direcção, onde esta se liga ao quadro, devido ao momento aqui exercido criado pela força de travagem, sendo aqui atingido o valor máximo de, aproximadamente, 181 MPa. Mostrando que as soldas nesta ligação são deveras importantes. Outra zona que também sofre um pouco neste ensaio são as curvas laterais do quadro, ilustradas a verde, apresentando valores próximos dos 115 MPa.

Ambos estes valores estão abaixo da tensão admissível para este projeto: 183 MPa.

Com este ensaio percebe-se que não se deve baixar a espessura do quadro devido a já haver uma tensão razoável nas curvas laterais, pois, se se baixar a espessura este valor de 115 MPa irá certamente aumentar. Assim como ter especial atenção durante a soldadura do quadro, pois a espessura e qualidade dos cordões de soldadura são cruciais para a resistência deste importante componente.

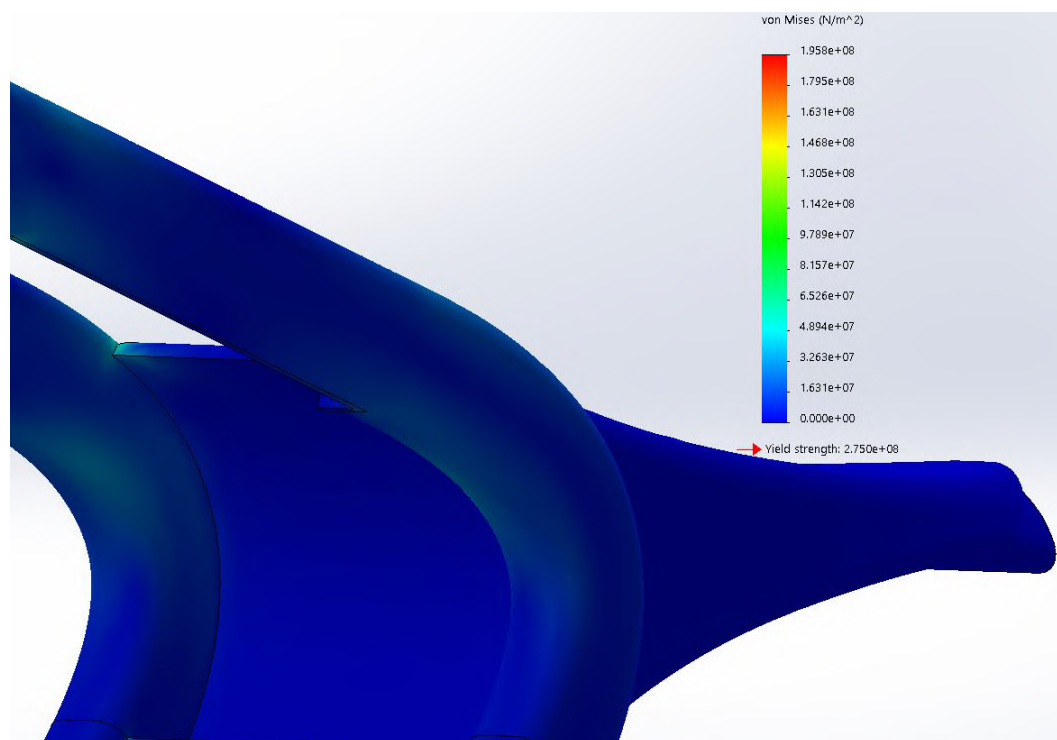


Figura 4.3: Tensão no quadro aquando a travagem.

Na figura 4.3 tem-se a mesma simulação que anteriormente mas ilustrando o comportamento mecânico na parte traseira do componente. Aqui também existem algumas tensões no quadro, mas com intensidades muito mais reduzidas, na ordem dos 40 MPa. Sendo que aqui os valores mais elevados se mostram na união do selim com a estrutura principal do quadro. Mostrando novamente que as linhas de soldadura mostram-se sempre os pontos críticos no que toca a tensões aplicadas, sendo as zonas que merecem especial atenção durante a construção deste componente.

4.3 Aceleração intensa

Para se prosseguir para a simulação da aceleração intensa do motociclo tem-se novamente que determinar as forças em causa, que neste caso uma delas é igual ao problema anterior: a força de reacção com o solo. Admitindo-se novamente que todo o peso é transferido para apenas uma das rodas, neste caso é a roda traseira que assume a força vertical de 1962 N presente no problema anterior.

Resta agora calcular a força aplicada pelo motor ao veículo, sendo que este cálculo é bastante simplificado devido ao sistema propulsor escolhido. Na figura 4.4 está ilustrado um esquema auxiliar onde se mostra a força aplicada à roda traseira.

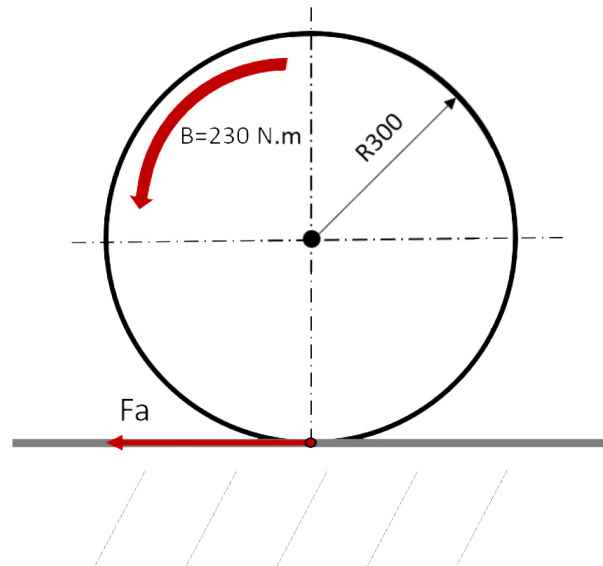


Figura 4.4: Esquema do binário aplicado à roda traseira.

A força denominada de F_a é a força que proporciona a aceleração do motociclo, sendo que esta é a força de reação que o solo faz sobre a roda devido a esta ter uma força no sentido contrário devido ao binário a esta aplicado [24] [25]. Como já foi referido anteriormente, o cálculo desta força é bastante simplificado devido ao sistema propulsor em questão. Estando este isento de quaisquer rácios multiplicadores na transmissão de potência do motor para a roda, ao contrário de um motociclo propulsado por um MCI onde existem vários rácios como o rácio primário, rácio da mudança engrenada e o rácio da transmissão entre a caixa de velocidades e a roda (relação final).

Como o motociclo em questão está isento de todas estas relações mencionadas, mesmo até da relação final devido a não existir elementos transmissores de potência como corrente, correia ou veio, o binário criado pelo motor é o mesmo aplicado à roda: 230 N.m. Para passar deste valor para o valor da força que acelera o veículo basta utilizar o raio externo da roda traseira e aplicar a fórmula de cálculo de binário, 4.5, onde b é a distância entre o eixo onde está aplicado o binário até onde é aplicada a força, ou seja, é o raio externo da roda. De modo a determinar este valor tem que se utilizar a medida do pneu utilizado, pois é este que dita o raio externo, assim uma medida comum de um pneu está indicada na seguinte forma: 90/80 R17. Onde o primeiro valor indica a largura, em milímetros do rasto do pneu, representado por L na equação 4.4, o segundo valor depois da barra é a percentagem de perfil, representado por P , isto é, a distância entre o aro da jante e o perímetro externo do pneu, sendo dada por a percentagem da largura do pneu. eg.: Um pneu 100/80 R17 tem um perfil de $100 \times 0,8$, ou seja 80 milímetros. Assim, utilizando a equação 4.4 chega-se ao valor do raio externo do pneu.

$$r = \frac{R \cdot 25,4}{2} + \frac{L \cdot P}{100} \quad \equiv \quad r = \frac{17 \cdot 25,4}{2} + \frac{120 \cdot 70}{100} \quad \equiv \quad r = 300mm \quad (4.4)$$

Com a distância entre o centro da roda e o perímetro externo determinada, finalmente se prossegue ao cálculo da força que provoca a aceleração do motociclo. No entanto, terá que se ter em conta se a força aplicada pelo motor não excede a força de atrito entre o pneu e o asfalto, pois, caso $F_{acel} > F_{atrito}$ o pneu irá deslizar sobre o asfalto e a força aplicada na roda não será empregue na sua totalidade para a deslocação do motociclo. Assim, caso $F_{acel} > F_{atrito}$ admite-se que $F_{acel} = F_{atrito}$, pois a força em excesso não irá ser transferida para os restantes componentes. Utilizando a equação 4.5 chega-se a este valor, podendo agora iniciar as simulações numéricas.

$$B = F \cdot b \quad \equiv \quad F = \frac{B}{b} \quad \equiv \quad F = \frac{230N.m}{0.30m} \quad \equiv \quad F = 767N \quad (4.5)$$

Esta situação é semelhante à analisada anteriormente, com a diferença que a força aplicada ao veículo está no sentido inverso, colocando a carga nos apoios da suspensão traseira invés do apoio da suspensão frontal como ocorreu anteriormente. Assim, para este ensaio tem que se fazer uma montagem dos 3 componentes entre a roda e o quadro de modo a aplicar as forças no sítio correto. Na figura 4.5 tem-se novamente um esquema com as forças em causa.

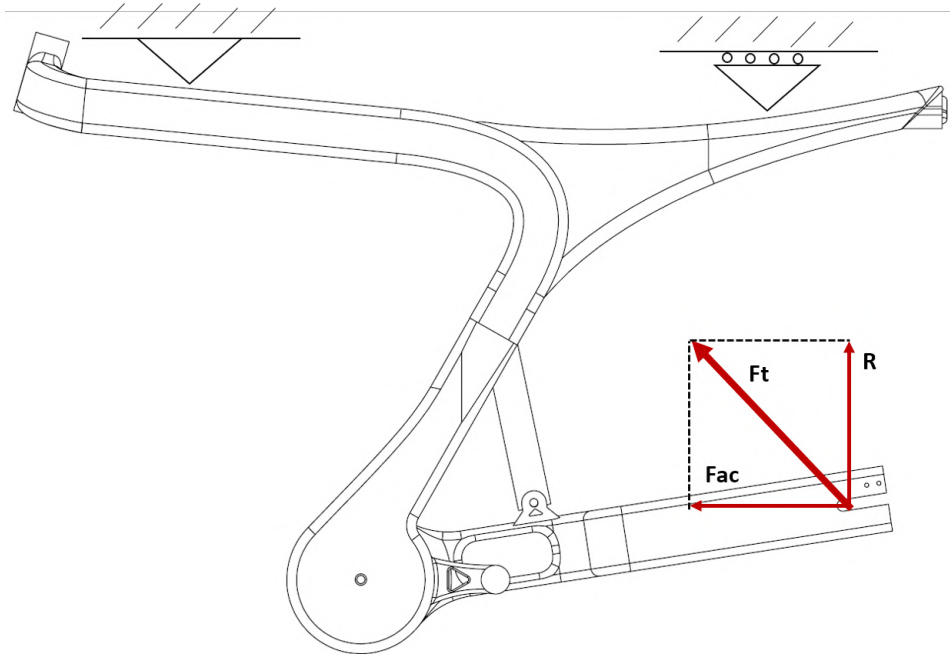


Figura 4.5: Forças aplicadas no veículo durante a aceleração.

Na figura 4.5, F_{ac} ilustra a força causada pelo binário aplicado pelo motor à roda traseira, enquanto a força R representa novamente a reacção do solo sobre a roda, assumindo o mesmo valor do ensaio anterior pois assumiu-se que todo o peso é transferido para a roda traseira.

De forma análoga ao ensaio anterior não se pretende simular o desempenho da suspensão traseira mas apenas analisar a tensão dos componentes originais, tendo-se assim colocado um amortecedor simplificado com a mesma dimensão daquele a comprar, sendo este definido como rígido na simulação de modo a criar o pior caso possível.

4.3.1 Primeiro modelo

Contextualizando, na seguinte simulação estão presentes duas forças: o peso do conjunto motociclo-condutor e a força de aceleração provocada pelo motor. A primeira assume um valor de 1962N e a segunda 767, estando ambas aplicadas no eixo da roda traseira, no ensaio dividiram-se ambas as forças pelos dois braços da escora, para não haver a necessidade de integrar a roda nesta simulação.

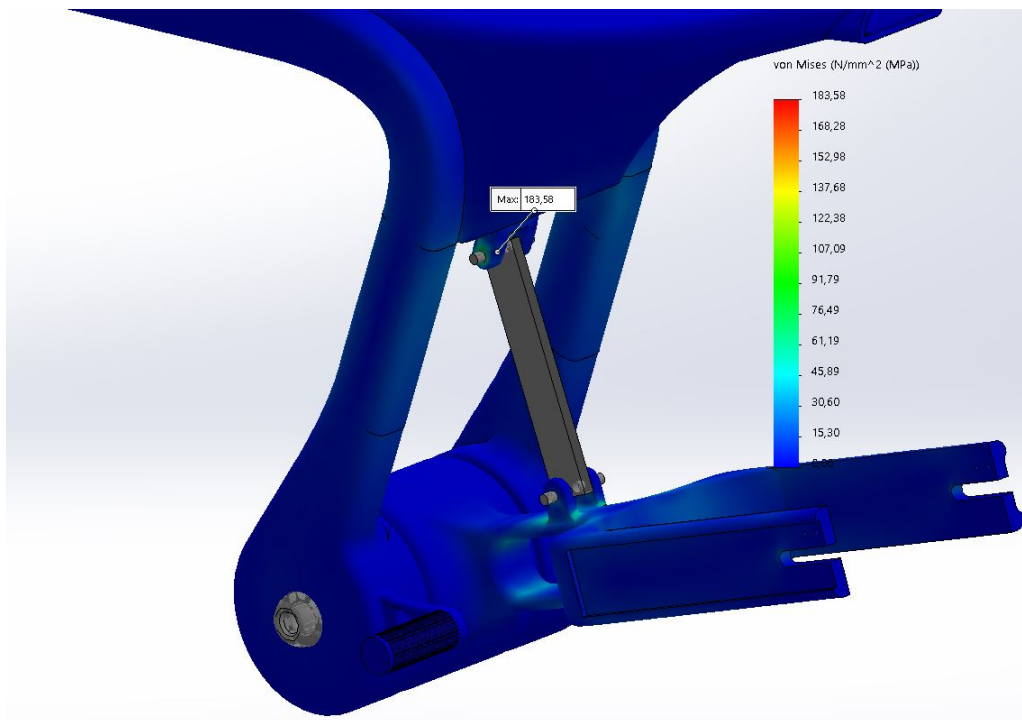


Figura 4.6: Resultados da simulação durante a aceleração.

Como era espectável as tensões têm valores mais elevados nos apoios da suspensão traseira em ambos os componentes, quadro e escora. No entanto, os valores mais elevados mostram-se no interior do apoio no quadro, devido a este apresentar uma geometria que não favorece a carga, havendo a necessidade de reconstruir esta parte para o próximo ensaio. Pois a tensão aqui aplicada ultrapassa a tensão admissível de 183,3 MPa anteriormente determinada.

Porém, este ensaio mostra que a escora está sobre-dimensionada drasticamente, de um ponto de vista mecânico. Os braços da escora apresentam baixos valores de tensão,

significando que pode ser otimizada de forma a retirar material em zonas de baixa tensão, de modo a reduzir o seu peso.

4.3.2 Segundo modelo

Como se verificou anteriormente, os braços da escora estavam demasiado sobre-dimensionados, uma vez que a tensão aplicada neles era muito reduzida, assim procedeu-se a uma primeira optimização. Nesta optimização foi retirado material dos braços de modo a que a tensão aplicada nestes seja superior, no entanto, tentou-se manter o *design* original o melhor possível.

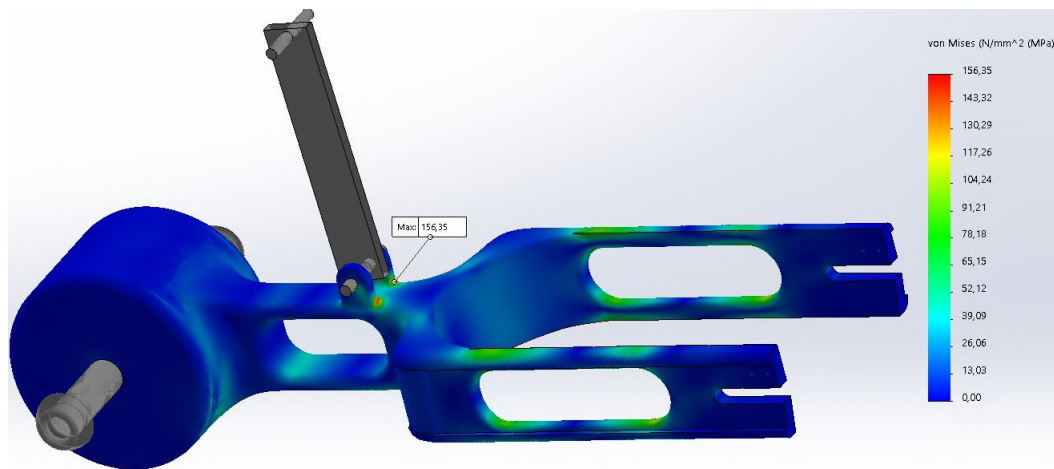


Figura 4.7: Resultados da segunda simulação durante a aceleração.

Para o segundo ensaio criou-se um furo nos braços da escora e reduziu-se a espessura do componente cilíndrico na acoplação da escora ao quadro. Com estas alterações houve uma enorme redução de peso e obteve-se os resultados esperados. Agora os braços da escora já estão expostos a uma tensão de, aproximadamente, 90 MPa. A tensão mais elevada neste ensaio é semelhante ao ensaio anterior só que agora esta aparece no apoio da suspensão no lado da escora pois o quadro foi ignorado para este ensaio. Esta tensão é de 156 MPa, estando ainda distante da tensão admissível de 183,3 MPa, no entanto pode ser facilmente melhorada com a optimização do apoio da suspensão. Aplicando uma geometria que distribua melhor a carga, sem praticamente adicionar massa ao sistema.

Quanto ao apoio da suspensão no quadro, agora este já tem uma geometria adequada distribuindo a carga como se pretendia inicialmente. Não havendo tensões nesta região do quadro superiores a 80 MPa, tal como se pode observar na figura 4.8.

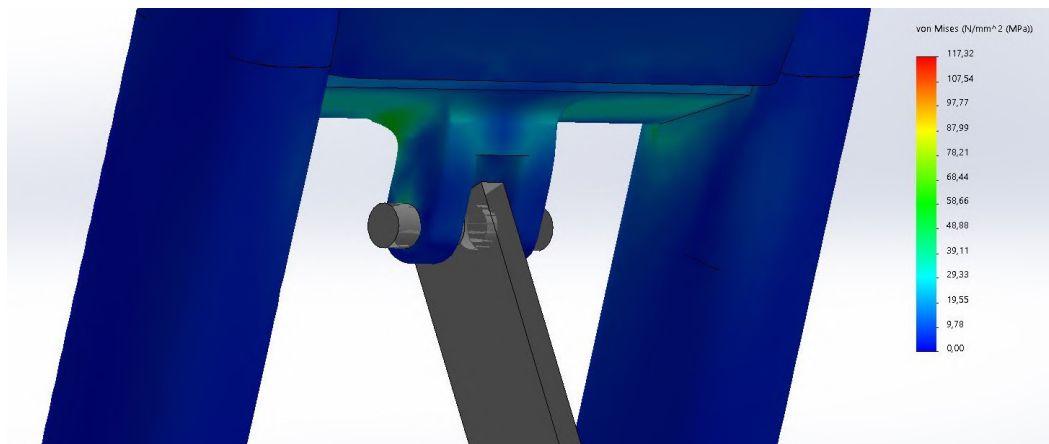


Figura 4.8: Resultados da segunda simulação durante a aceleração.

4.3.3 Terceiro modelo

Para este ensaio reforçou-se o apoio da suspensão na escora mantendo-se as restantes partes constantes. A figura 4.9 mostra os resultados deste ensaio.

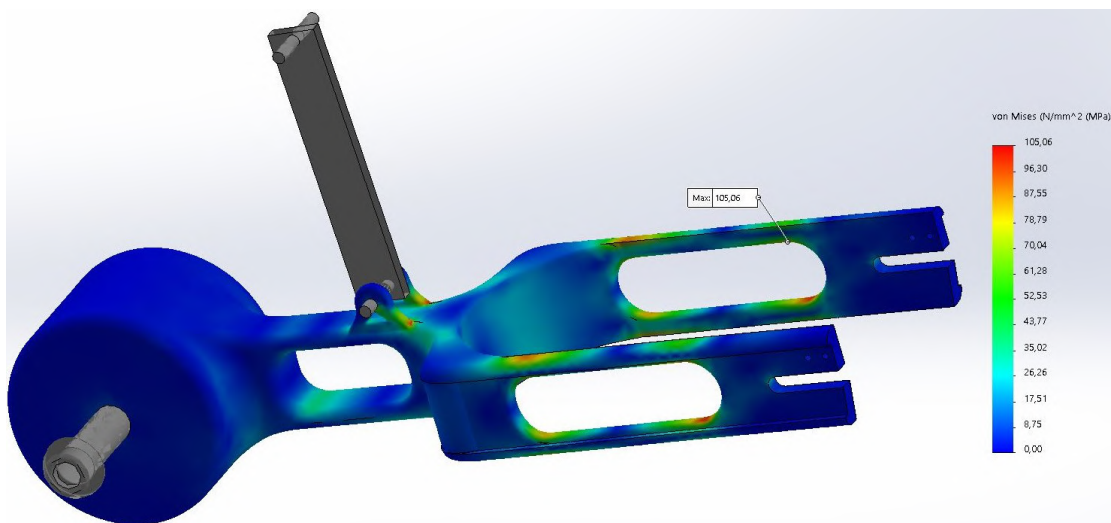


Figura 4.9: Resultados da terceira simulação durante a aceleração.

Na figura 4.9 observa-se que a tensão nos apoios da suspensão mantém os valores mais elevados, onde agora o valor máximo da tensão é de 103 MPa em vez dos 156 MPa que se tinha anteriormente.

Neste ensaio provou-se que apenas com a alteração de geometria, mantendo praticamente a mesma quantidade de material, se pode reduzir em mais de 30% a tensão máxima aplicada à escora. Faltando apenas agora fazer algumas alterações de *design* por motivos estéticos tentando não alterar a geometria, e voltar a realizar um último ensaio para verificar se os valores se alteraram em demasia.

4.4 Ensaio dos apoios dos pés

Neste ensaio pretende-se garantir a resistência dos apoios dos pés, verificando se estes são capazes de suportar todo o peso do condutor em apenas um dos apoios. O esquema da figura 4.10 mostra a localização desta força.

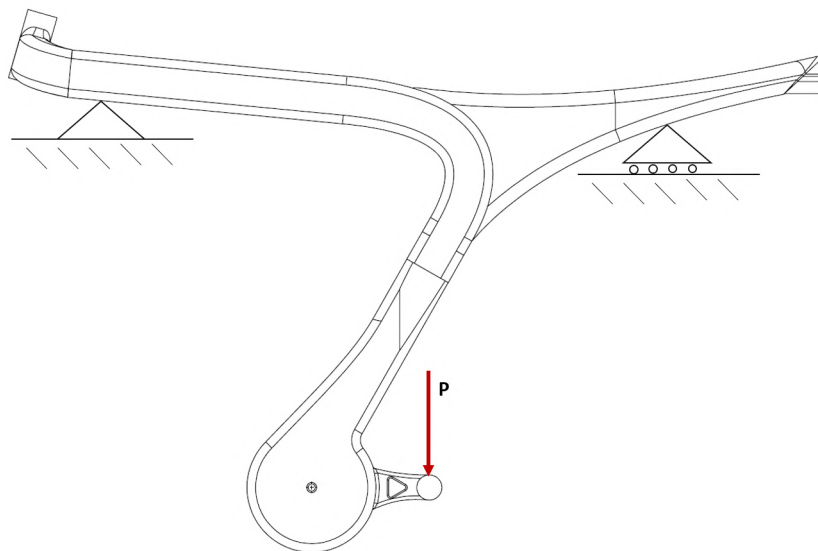


Figura 4.10: Forças aplicadas nos apoios dos pés.

O cálculo desta força é bastante simples, pois consiste apenas em calcular o peso do condutor, no entanto irá-se considerar uma aceleração vertical superior à gravidade de modo a tentar simular a transferência de peso para este apoio. Considera-se então uma aceleração vertical de $1,5g$. Com a equação 4.6 chegamos ao valor desta força, assumindo a massa do condutor como 100 kg e a constante gravitacional como $9,81\text{ m/s}^2$.

$$F = m \cdot a \quad (=) \quad F = m \cdot (1,5 \cdot g) \quad (=) \quad F = 1472\text{ N} \quad (4.6)$$

4.4.1 Primeiro modelo

Num primeiro ensaio realizou-se a simulação sem nenhuma alteração no modelo, pois quando estes apoios foram desenhados inicialmente, já se teve em consideração o que estes teriam que suportar. Assim, como mostra a figura 4.11, os resultados são bastante positivos. Havendo uma tensão máxima, como seria de esperar, no furo presente no suporte apresentando um valor de, aproximadamente, 164 MPa . No entanto, os valores não são muito baixos, o que torna uma possível optimização redundante. Porém, as tensões aplicadas no cilindro onde a força está aplicada apresentam valores extremamente baixos, havendo a necessidade de tornar este cilindro oco de modo a retirar material desnecessário.

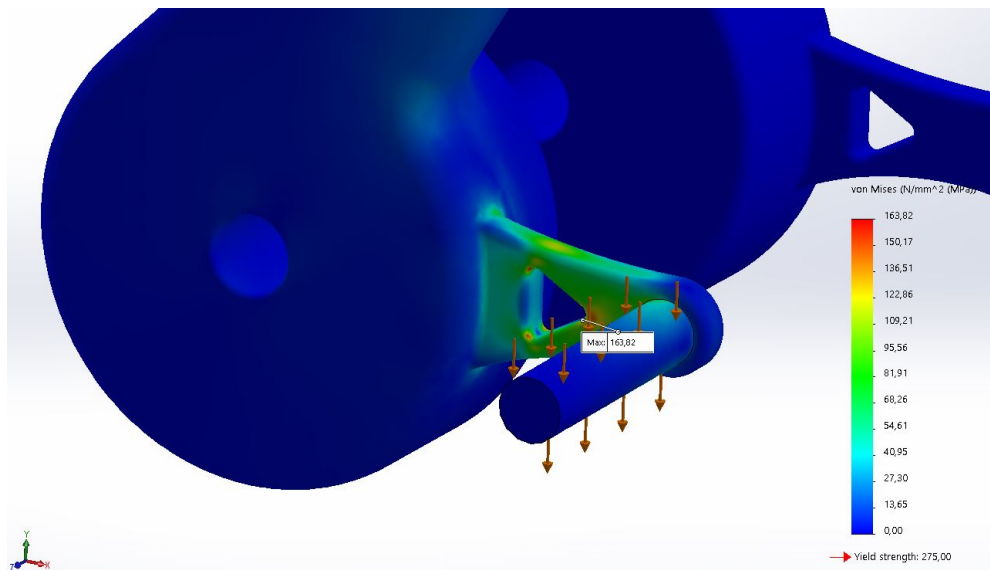


Figura 4.11: Primeiro ensaio dos apoios dos pés.

4.4.2 Segundo modelo

O cilindro onde está aplicada a força é agora oco, tendo um diâmetro externo de 25 milímetros e um diâmetro interno de 21, ou seja, uma espessura de 2 milímetros. Após esta alteração as tensões neste cilindro não foram muito alteradas, contudo a tensão máxima no ensaio, apesar de se encontrar na mesma posição, apresenta um valor ligeiramente superior àquele obtido no ensaio anterior. Isto pode ser devido a uma diferente distribuição de tensões devido à diferente geometria do cilindro onde está aplicada a força, ou pode até ser devido a uma alteração na malha do modelo, pois teve de ser criada uma nova malha devido às alterações realizadas.

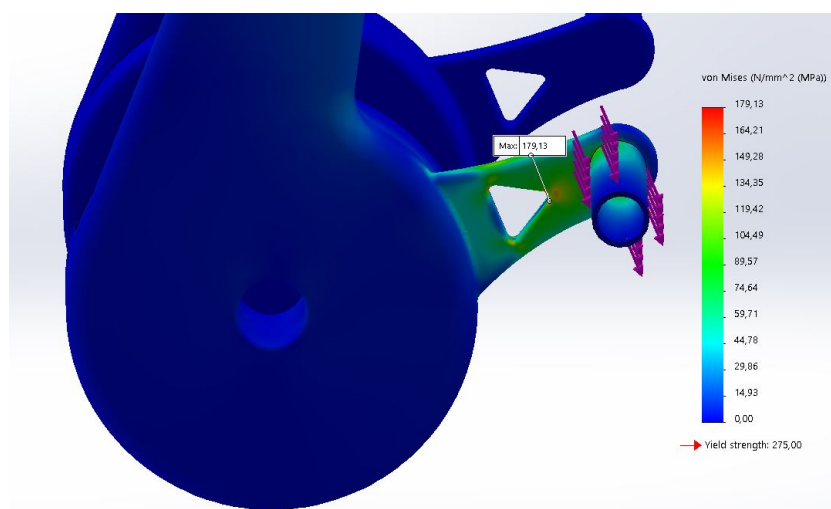


Figura 4.12: Segundo ensaio dos apoios dos pés.

4.5 Acoplamento do braço oscilante

De modo a unir o braço oscilante ao quadro, tem que ser dimensionado o veio que torna esta ligação possível, assim como os casquilhos e anilhas que a completam. Até agora, tem sido utilizando na modelação um veio representativo sem qualquer detalhe ou próprio dimensionamento, pois este sistema não altera o conceito do ponto de vista estético.

Este acoplamento é uma ligação a seco onde se tem dois casquilhos, um em cada extremidade do braço oscilante, com um veio que atravessa todo o sistema, sendo apertado na parte exterior do quadro através de duas porcas hexagonais. Onde o primeiro passo a tomar neste dimensionamento, e sem dúvida o mais importante, é o de determinar o diâmetro do veio de acoplamento. Para tal, utiliza-se novamente a situação de aceleração intensa, onde as forças aqui aplicadas são máximas. Na figura 4.13 tem-se um esquema com as medidas entre os eixos do braço oscilante assim como as forças aqui aplicadas durante a aceleração máxima.

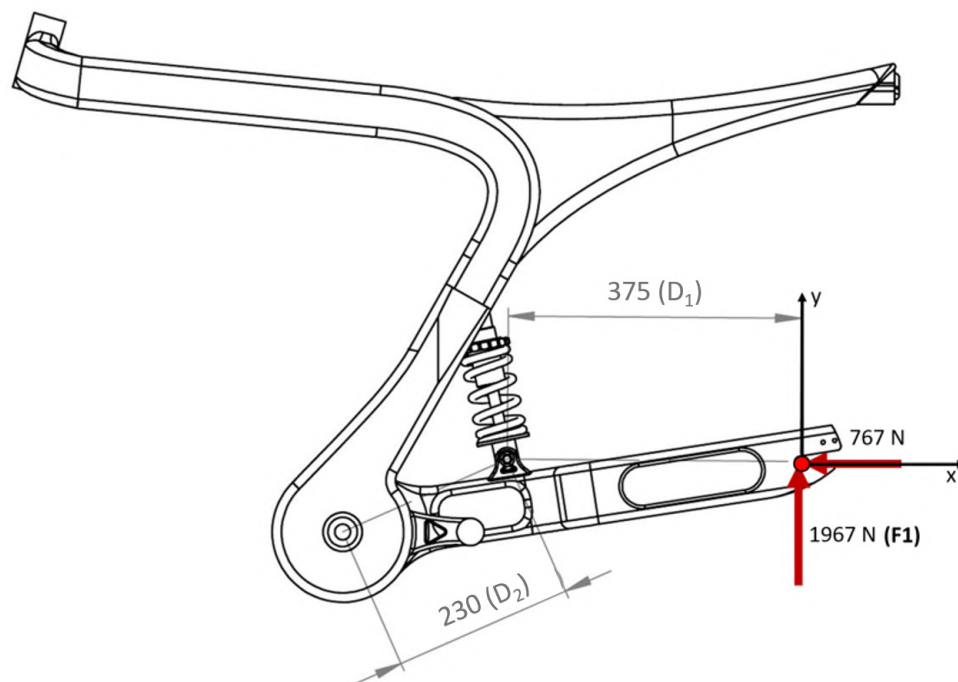


Figura 4.13: Dimensões entre eixos e forças aplicadas no braço oscilante.

Para dimensionar o veio tem-se que saber primeiramente que forças estão aplicadas neste. As forças causadas pela aceleração intensa aplicadas na roda traseira são transferidas da escora para este veio através do eixo de rotação no apoio inferior da suspensão traseira. Pois quando o sistema está estático com as cargas aplicadas, o momento causado pela aceleração é aplicado em torno do eixo de rotação (apoio inferior da suspensão traseira), e como em equilíbrio $\sum M = 0$, há então um momento de igual valor em sentido contrário, havendo assim uma força aplicada no veio que suporta o braço oscilante. Onde esta força se divide pelos dois casquilhos neste veio. Na equação 4.7 tem-se a equação que resume a situação mencionada anteriormente.

$$\sum M = 0 \quad (=) \quad F_1 \cdot D_1 = F_2 \cdot D_2 \quad (=) \quad F_2 = F_1 \cdot \frac{D_1}{D_2} \quad (4.7)$$

No entanto, F_1 é apenas a força normal ao solo, pois esta é perpendicular à linha que une os dois eixos (ver figura 4.13), enquanto a força causada pela aceleração é paralela a esta, não criando qualquer momento no braço oscilante. Assim, obteve-se um valor de 3205,35 N para a força F_2 utilizando a equação 4.7, sendo que esta é aplicada com um ângulo perpendicular à linha que une o eixo de acoplamento do braço oscilante com o quadro e o eixo do apoio inferior da suspensão traseira, como mostra a figura 4.14.

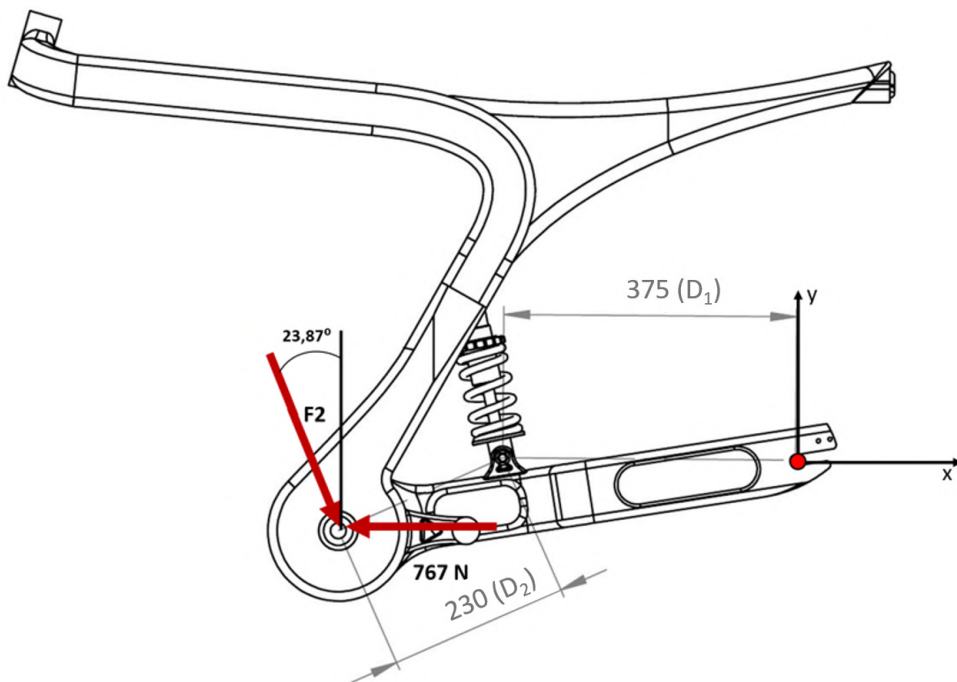


Figura 4.14: Dimensões entre eixos e forças aplicadas no eixo de acoplamento do braço oscilante.

Porém, o ângulo pelas duas forças formado não é de 90°, fazendo com que a sua soma geométrica não seja apenas a raiz da soma dos seus quadrados, mas a soma da decomposição das forças nas suas componentes verticais e horizontais. A força causada

pela aceleração é horizontal enquanto a força causada pelo momento tem um ângulo de $23,87^\circ$ com a vertical. Assim, esta última força resume-se a uma componente vertical de 2931,18 N e a uma força horizontal de 1297,09 N em sentido contrário à força causada pela aceleração, fazendo com que a força horizontal total aplicada ao eixo seja de 530,09 N. Agora sim se pode fazer a raiz da soma dos quadrados (equação 4.8) obtendo a soma das componentes, resultando num valor de 2978,73 N.

$$F_t = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} \quad (4.8)$$

Com a força aplicada ao veio calculada, pode-se calcular o diâmetro que este tem que ter para suportar as cargas impostas. Este veio consiste num veio com dois apoios e duas forças aplicadas no centro de cada casquilho, com um valor de 1489,37 N (metade da força calculada anteriormente). Na figura 4.15 é possível ver a força transversal e o momento fletor ao longo do veio, onde se considerou a largura dos casquilhos de 20 milímetros de comprimento, ou seja as forças estão aplicadas a 10 milímetros de cada extremidade do braço oscilante. Onde as cargas P_1 e P_2 são ambas forças de valor 1489,37 N como foi calculado anteriormente.

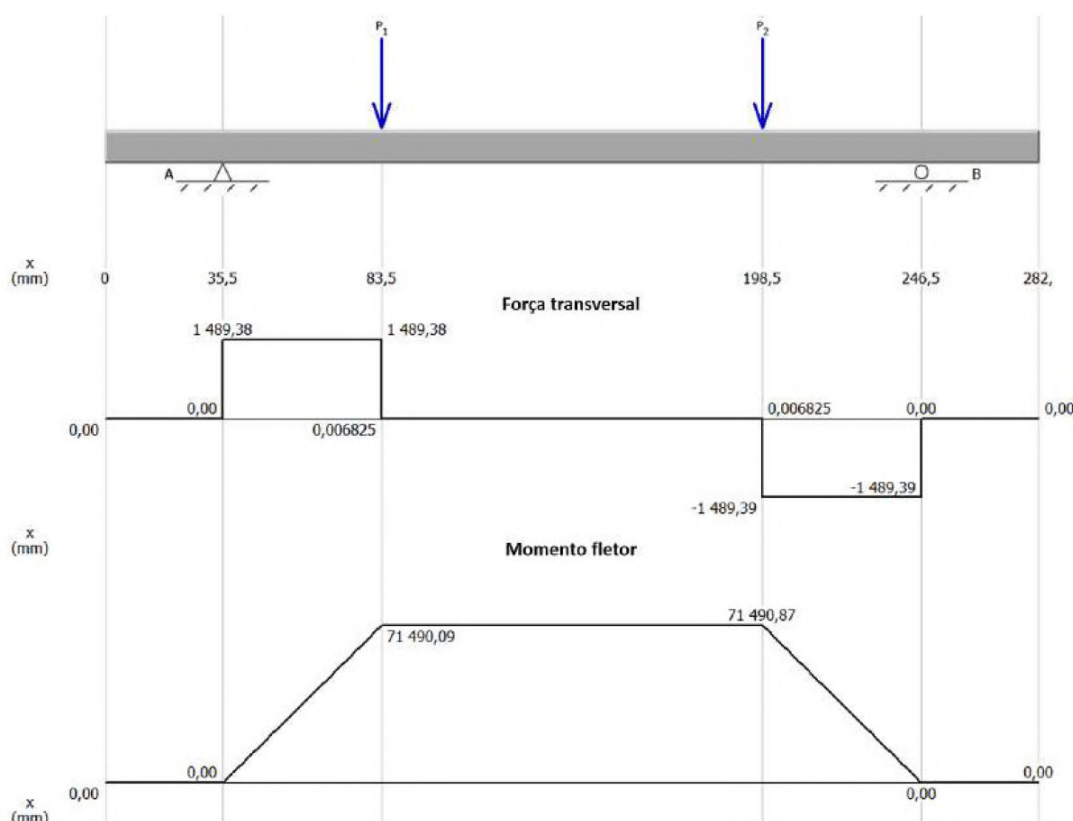


Figura 4.15: Força transversal e momento fletor ao longo do veio (força em N e momento em $N \cdot mm$).

Para determinar o diâmetro mínimo necessário para que o veio suporte estas cargas, utiliza-se a equação 4.9 resolvendo-o à ordem D_i (diâmetro). Onde M_b é o momento fletor máximo no veio e σ_{bmax} é a tensão normal máxima admitida. A parcela no cálculo que envolve a tensão de corte é ignorada, pois este veio está isento de qualquer momento torsor, sendo apenas um veio de suporte, está praticamente exposto apenas à flexão.

$$\sigma_{bmax} = \frac{32 \cdot M_b}{\pi \cdot D_i^3} \quad (4.9)$$

Para calcular a tensão σ_{bmax} tem de ser seleccionado o material a utilizar no veio assim como o coeficiente de segurança, sendo este último o mesmo utilizado anteriormente nas simulações ($\gamma = 1,5$). Tendo em conta que o valor do momento máximo no veio, M_b , é baixo, o material escolhido foi o aço Ck 35, possuindo uma tensão de cedência, σ_Y , de 300 MPa para veios de diâmetros inferiores ou iguais a 16 milímetros [30]. Obtendo-se assim um valor para a tensão normal máxima admitida de 200 MPa, utilizando a equação 4.10.

$$\sigma_{bmax} \leq \frac{\sigma_Y}{\gamma} \quad (4.10)$$

Juntando as duas últimas equações obtém-se a equação 4.11, que resolvendo à ordem do diâmetro, tem-se $D \geq 15,38mm$.

$$\frac{32 \cdot M_b}{\pi \cdot D_i^3} \leq \frac{\sigma_Y}{\gamma} \quad (=) \quad D_i \geq \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_b \cdot \gamma}{\sigma_Y \cdot \pi}} \quad (4.11)$$

Com um valor mínimo para o diâmetro de 15,38 milímetros para o veio, resta encontrar o valor normalizado mais próximo de diâmetro dos casquilhos que aqui irão acoplar, sendo este valor de 16 milímetros. Estes casquilhos devem ser casquilhos com aba de modo a ficarem fixos na sua cavidade no braço oscilante, podendo assumir diversos valores de comprimento e de diâmetro externo dependendo do fornecedor. Utilizando a marca *Igus* com os modelos da gama *iglidur G* auto-lubrificados com flange, tem-se apenas um valor de diâmetro externo de 18mm e inúmeros valores de comprimento, sendo que o valor mais próximo dos 20mm utilizados anteriormente são casquilhos com 21mm de comprimento.

No entanto, tem que se confirmar que a pressão superficial não excede a indicada pelo fabricante, sendo que este indica um valor máximo de 80 MPa a uma temperatura de 20°C. Para calcular a tensão superficial basta utilizar a força suportada pelo casquilho, já calculada anteriormente, utilizando novamente um coeficiente de segurança de 1,5, e determinar a área do casquilho que suporta a força sendo esta metade da área interna do casquilho. A equação 4.12 ilustra este cálculo.

$$P_{superficial} = \frac{F \cdot \gamma}{A} \quad (=) \quad P_{superficial} = \frac{F \cdot \gamma \cdot 2}{\pi \cdot d \cdot L} \quad (4.12)$$

Obtendo-se um valor de 4,23 MPa para a tensão superficial no interior do casquilho. Como este valor é muito reduzido quando comparado com a tensão máxima dada pelo fabricante (80 MPa), fez-se novamente o cálculo para um casquilho de 16 mm de comprimento, obtendo-se então um valor final de 5,56 MPa.

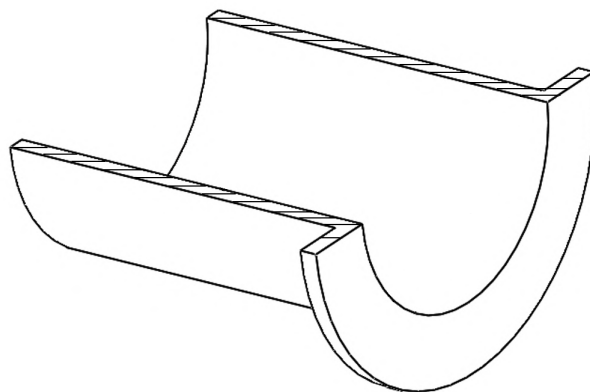


Figura 4.16: Representação do casquilho a utilizar em vista de corte.

Quanto ao aperto este é feito com duas porcas hexagonais baixas segundo a norma ISO 4035, juntamente com duas anilhas planas segundo a norma ISO 7091 entre as porcas e o quadro, e outro par entre o braço oscilante e o quadro [29]. O sistema pode ser visualizado na figura 4.17.

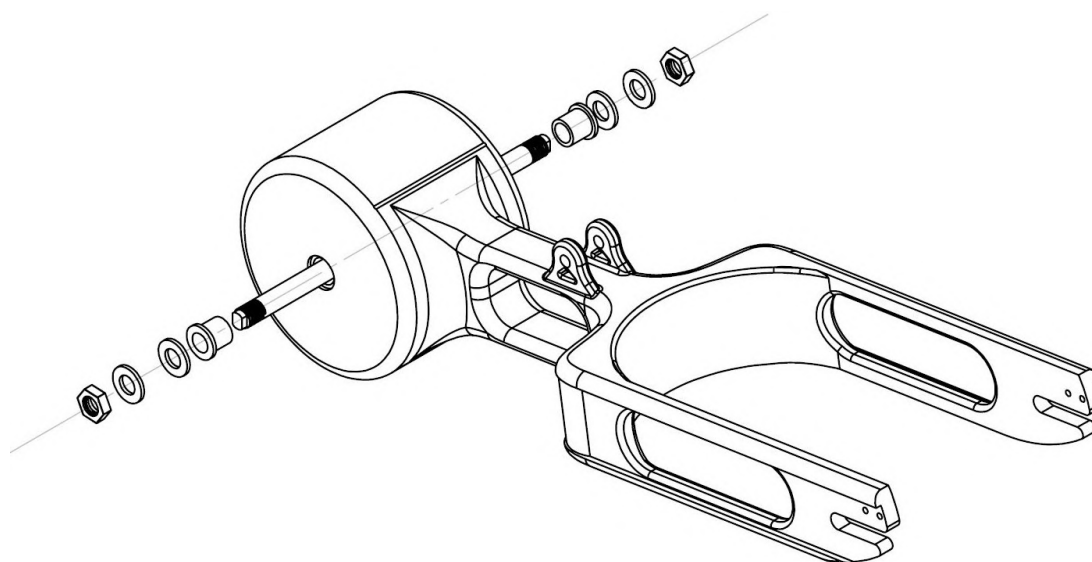


Figura 4.17: Vista explodida do sistema de acoplamento do braço oscilante.

Capítulo 5

Proposta final

5.1 Modelo final

Após os cálculos estruturais provarem que a geometria dos componentes mais importantes não necessitavam de mais alterações, o desenvolvimento do conceito encontra-se concluído. O principal objetivo inicial era desenvolver um motociclo elétrico citadino que oferecesse a utilidade diária, possibilitando a arrumação do capacete e de objetos pessoais do seu utilizador, mas fugindo ao conceito comum de uma *scooter*. Este objetivo foi conseguido, tendo-se desenvolvido um motociclo que oferece a utilidade de uma *scooter* enquanto possui um visual de um motociclo comum.



Figura 5.1: Modelo final: vista lateral.

Muitos componentes foram desenvolvidos ao longo do projeto sem que tenha sido referida a sua evolução durante desenvolvimento do modelo. Componentes esses como os faróis, as rodas e suspensões, componentes que são muito importantes no estilo do motociclo, estando relacionados com requisitos como o *design* futurista, *design* minimalista e simplicidade, no entanto não são o cerne do projeto pois estes componentes não refletem o objetivo do motociclo como outros componentes como o quadro, a escora ou as arrumações. Os compartimentos de arrumação são o componente que representa o requisito mais importante do projeto, enquanto o quadro e a escora são componentes completamente originais que indicam as principais formas do motociclo, refletindo as medidas deste assim como a posição de condução.



Figura 5.2: *Design* final do farol dianteiro.

O farol dianteiro foi um componente que esteve presente desde o primeiro modelo 3D, mas só lhe foi dada a requerida atenção na fase final do projeto. Após a pesquisa de diversos modelos para este componente em motociclos que apresentavam um estilo semelhante àquele que se quer neste projeto, chegou-se à conclusão que o ideal seria a utilização de um farol em luz LED, oferecendo um visual mais moderno e representando de certa forma a tecnologia elétrica presente no veículo. A luz de forma circular na periferia do farol é a luz de presença, estando sempre ligada quando o motociclo está ligado, enquanto as pequenas lâmpadas no centro são o farol propriamente dito.



Figura 5.3: Vista posterior do motociclo.

Os restantes componentes sofreram um processo semelhante de pesquisa e de evolução no seu *design* com o decorrer do projeto, apresentando geometrias mais complexas na fase final. Algumas partes do veículo foram só desenvolvidas na fase final do projeto, não sofrendo iterações, pois quando foram desenvolvidas os restantes componentes já estariam na sua forma final. Estes componentes são os guarda lamas traseiro e dianteiro, os piscas e o farol traseiro. Estes componentes dependiam que alguns outros componentes estivessem finalizados para que se pudessem desenvolver corretamente. Na figura 5.3 está presente uma vista traseira do motociclo, onde se pode ver algumas das escolhas tomadas nestes componentes.

De modo a recriar um ambiente real com um modelo 3D utilizam-se algumas técnicas de renderização, fazendo com que o modelo pareça mais natural facilitando a avaliação estética deste. Estas técnicas passam por aplicação de texturas aos diferentes materiais presentes no modelo, aplicação de um ambiente como plano de fundo e a utilização de iluminação, tentando simular a presença deste modelo no mundo real.

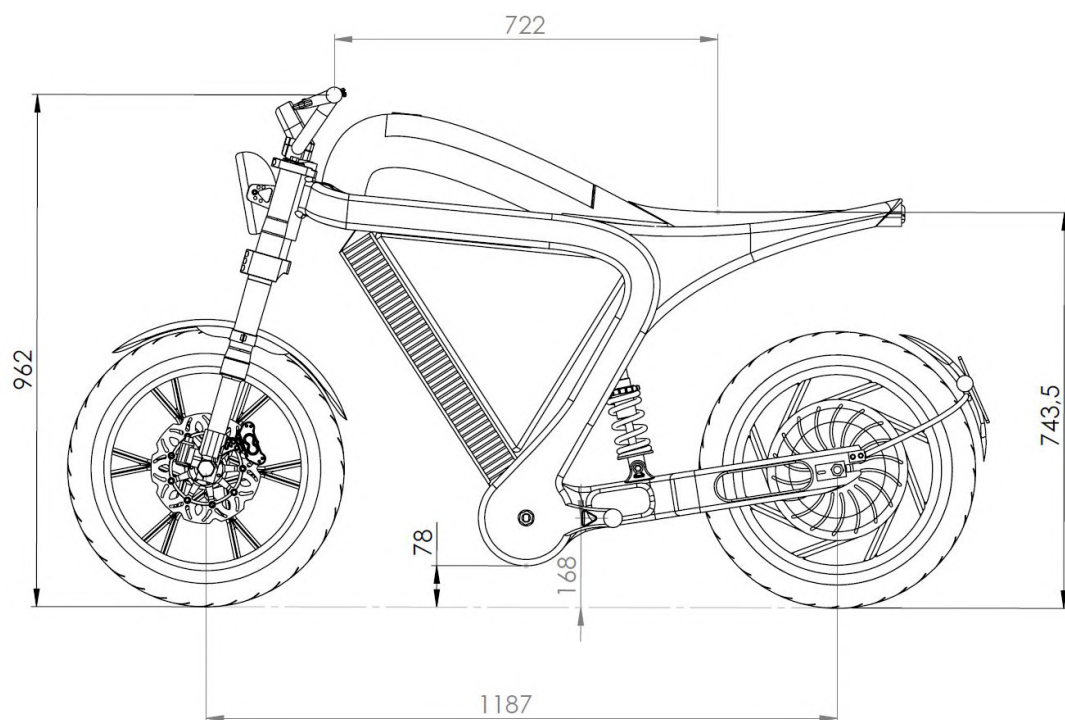


Figura 5.4: Dimensões gerais do motociclo.

Na figura 5.4 estão presentes as principais dimensões do motociclo desenvolvido, onde se obteve um motociclo de reduzida distância entre eixos devido principalmente a ser um veículo de apenas um passageiro, no entanto, o ângulo da coluna de direção de 16° também influenciou este valor, causando um rasto positivo de 80 milímetros. Possuindo também uma altura de assento que permite facilmente ao seu utilizador se colocar em posição de marcha assim como sair do motociclo, assim como um fácil acesso aos controlos.

5.2 Listagem de componentes

De todos os componentes muitos serão adquiridos no mercado, não havendo qualquer necessidade de reinventar componentes onde não se pretende inovar de qualquer forma. Deixando mais tempo para a realização dos componentes originais que darão forma ao conceito definido anteriormente.

5.2.1 Suspensão frontal

Inúmeras suspensões podem ser adquiridas para este motociclo. Havendo apenas alguns requisitos que deva cumprir, principalmente no seu comprimento, pois este interfere com a posição de condução. A suspensão frontal no modelo apresenta um comprimento de 610 milímetros e um curso de 100. Onde este último valor também é relevante, pois o curso de uma suspensão está directamente relacionado com a sua utilização. Como este motociclo é destinado a uma utilização citadina, é desejável uma suspensão de reduzido curso, permitindo que o veículo esteja mais próximo do solo. Um veículo no mercado que possui uma suspensão frontal que poderia perfeitamente ser aplicada neste modelo é a *Honda CB125R Neo Sports Café*.



Figura 5.5: Honda CB125R Neo Sports Café. [20]

5.2.2 Suspensão traseira

À semelhança da suspensão frontal, também a suspensão traseira pode ser seleccionada a partir de diversos modelos. O tipo de suspensão traseira escolhida foi a mono-suspensão por questões estéticas, sendo o tipo de suspensão que se usa em motociclos do estilo *naked*.

Como este motociclo é de apenas um passageiro, o componente elástico da suspensão traseira tem que possuir um rácio de deformação baixo, relativamente aos que são comuns encontrar no mercado. Este rácio indica a força que é necessário aplicar para a suspensão deformar 1 milímetro, normalmente dado em N/mm [25].

5.2.3 Sistema propulsor

O sistema propulsor consiste num motor eléctrico no cubo traseiro da roda, baterias acompanhadas com o respectivo controlador sinusoidal, e acelerador. O sistema foi seleccionado no início do projecto de modo a conhecer os valores de potência e capacidade de armazenamento iriam ser utilizados. Sendo a potência escolhida de 8 kW, aproximadamente 11 cv, é uma potência semelhante àquela utilizada nos motociclos equipados com MCI de 125cc.

O sistema é comprado com todos os componentes necessários, incluindo: roda com motor no cubo, controlador sinusoidal, sistema de travagem traseiro e todos os cabos

eléctricos necessários.



Figura 5.6: Jante com motor eléctrico no cubo. [21]

Após a pesquisa das jantes com motor no cubo presentes no mercado atual, ganhou-se alguma sensibilidade aos valores das especificações deste componente, sendo as características desejadas as seguintes:

- Diâmetro de 17 polegadas;
- Potência: 8 kW;
- Binário máximo ≥ 200 N.m;
- Diferença de potencial: 72V (devido a compatibilidade com baterias);
- Velocidade máxima: 120km/h;
- Eficiência mínima $\geq 90\%$;
- Pneu compatível: 120/70 R17;
- Peso ≤ 25 kg;

Como se observa nas características da jante, esta é deveras pesada quando comparada com qualquer outra jante de alumínio. Pois, esta para além de ser uma jante é também o motor do motociclo, que como está incorporado na roda, são pelo menos 20 kg que não suportados pela suspensão (*unsprung weight*) e que estão muito abaixo dos restantes componentes do conjunto motociclo-condutor, baixando assim o centro de gravidade total.

Quanto às baterias estas devem apresentar uma capacidade de, no mínimo, 2 kW.h de modo a permitir a autonomia desejada quando acoplada com um motor de 8 kW. O volume disponibilizado para as baterias no modelo é de, aproximadamente, 5 dm³. Sendo o suficiente para garantir a autonomia requerida, assim como manter um *design* apelativo.

5.3 Componentes originais

5.3.1 Quadro

Sendo o componente mais importante do motociclo, este foi desenhado de raiz. A sua produção deve ser feita a partir de barras extrudidas da liga de alumínio anteriormente selecionada, assim como partes criadas por molde de fundição e por partes maquinadas em CNC. A união destes componentes é feita através de soldadura, sendo que a liga de alumínio escolhida é possível de soldar.

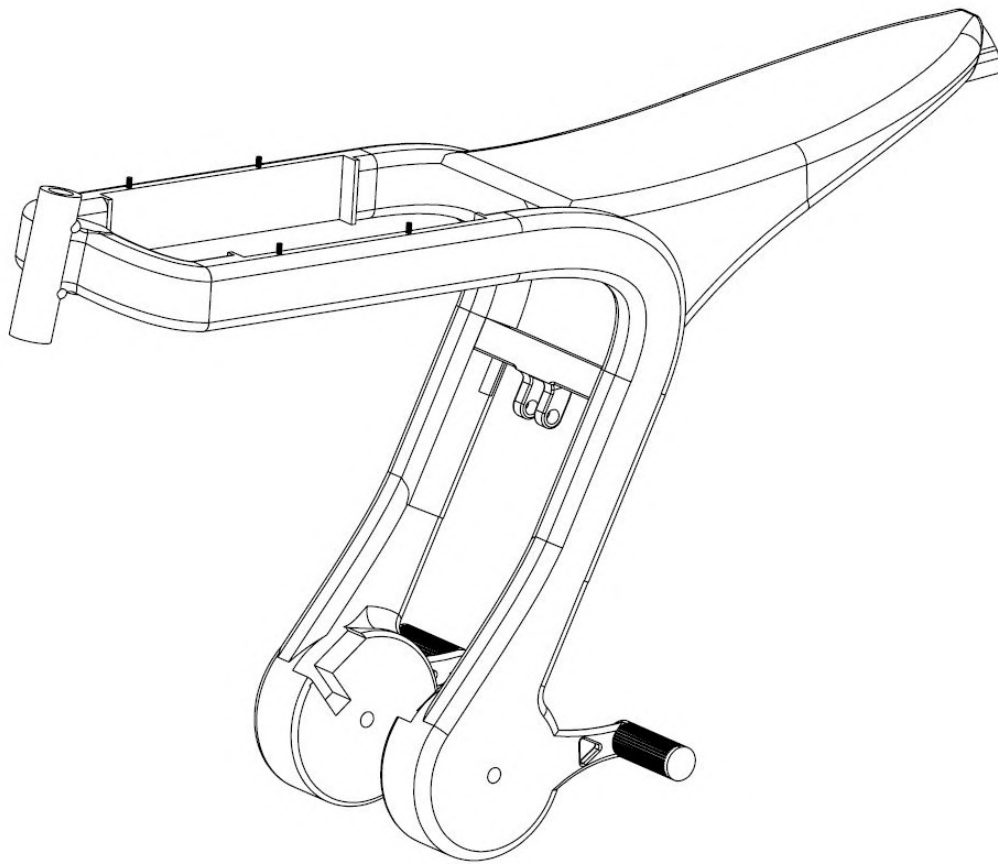


Figura 5.7: Quadro do motociclo.

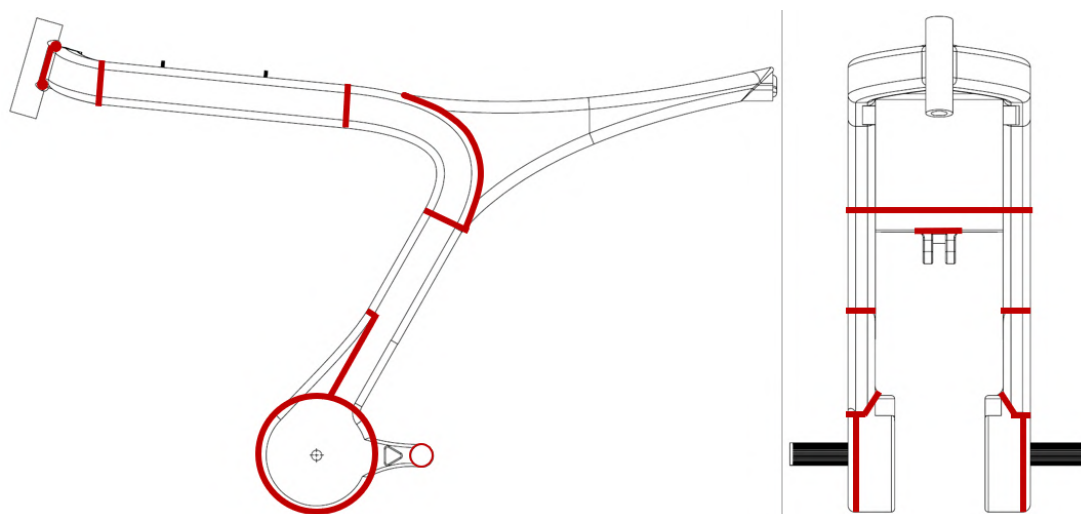


Figura 5.8: Localização das principais soldaduras na construção do quadro.

Como é mostrado na figura 5.8, a construção do quadro é realizada a partir de inúmeras peças unidas por soldadura. Sendo as que dão a principal forma, barras extrudidas ligadas, pois há secções com diferentes curvaturas e outra retas. Sendo estas novamente unidas à coluna de direção, à estrutura do selim e às bases circulares perto dos apoios dos pés. Estes apoios são também soldados a estas bases circulares, onde estas são compostas por dois componentes de modo a fazer o seu interior oco. Sendo o componente que dá quase toda a sua forma criado por molde de fundição e posteriormente é soldado o outro componente que faz o fecho.

O apoio superior da suspensão traseira está presente no quadro, sendo este fabricado por maquinaria CNC e posteriormente soldado à restante estrutura.

A estrutura que forma o selim está mostrada como um único componente na figura 5.8, no entanto, este é também fabricado pela soldadura de diferentes chapas de alumínio, sendo que pode ser fabricado separadamente e só depois ligado à restante estrutura do quadro.

5.3.2 Braço oscilante

O braço oscilante, ou escora, foi também um dos componentes desenvolvidos de raiz, pois a união deste com o quadro apresenta um *design* único. Este componente deve ser produzido através de molde de fundição de alumínio. Este componente sofreu inúmeras alterações ao longo do desenvolvimento do modelo, mas na figura 5.9 tem-se o braço oscilante na sua forma final. Havendo no anexo B um desenho de definição deste componente.

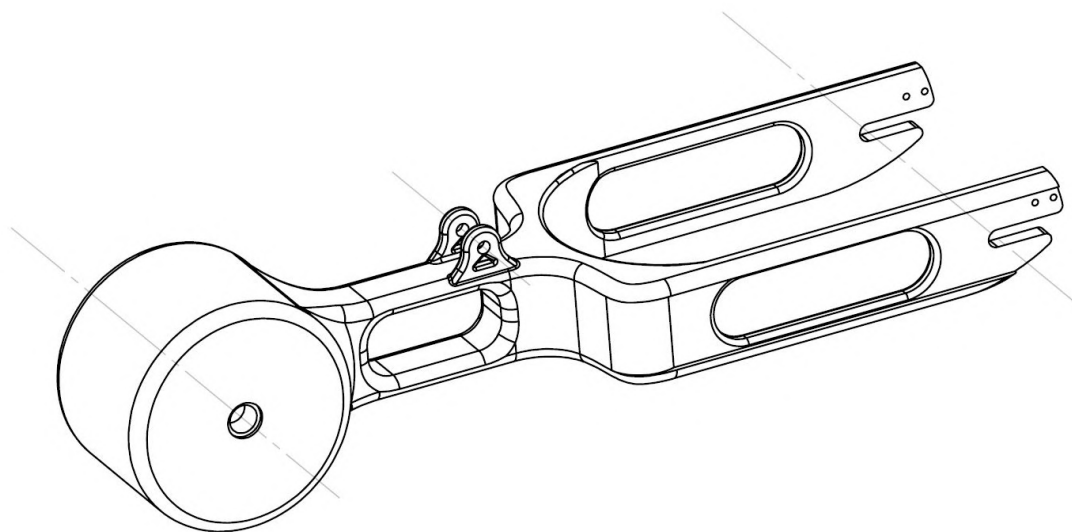


Figura 5.9: Braço oscilante do motociclo.

Capítulo 6

Conclusão

Após a finalização da modelação e análise de alguns componentes, é possível concluir que os principais objetivos do trabalho foram cumpridos. Sendo que estes eram desenvolver um motociclo destinado a utilização citadina que pudesse substituir uma *scooter* comum, tendo a funcionalidade utilitária desta, mas possuindo um visual mais atraente à semelhança dos outros tipos de motociclo. De forma a tornar este motociclo de utilidade semelhante a uma *scooter* foi necessário desenvolver um *design* que pudesse alojar arrumações mas que não se aproximasse à aparência desta, onde coubesse no mínimo o capacete do utilizador. Este objetivo foi conseguido através da utilização do espaço que normalmente é destinado ao tanque de combustível num motociclo equipado com um MCI.

Para além de provar que o motociclo é capaz de armazenar bens do condutor, também se provou que os componentes originais, quadro e braço oscilante, apresentam resistência mecânica suficiente para suportar situações críticas que o utilizador possa enfrentar durante a utilização do veículo.

6.1 Trabalhos futuros

Futuramente seria necessário aumentar o detalhe do modelo em determinados componentes, de modo a torná-lo mais atrativo do ponto de vista do utilizador. Componentes esses como as arrumações, guarda-lamas e iluminações da traseira podiam ser mais trabalhadas.

O dimensionamento dos elementos de ligação também carecem trabalho futuro pois estes não eram o ênfase desta dissertação. Após todos os dimensionamentos realizados seria possível construir um primeiro protótipo para procurar falhas que este modelo possa ter, sendo ensaiado fisicamente, assim como analisado de um ponto de vista estético, há um ponto de vista diferente daquele que se possui digitalmente.

Bibliografia

- [1] MARTINS, J. - **Motores de Combustão Interna**, 5^aed. Spain: Engebook, (2016).
- [2] ZERO MOTORCYCLES - **Zero S SR**, [Consultado a: 13 mar. 2019], Disponível em:
<https://www.zeromotorcycles.com/zero-s/>.
- [3] CLEAN TECHNICA - **Electric car myth buster-Efficiency**, [Consultado a: 13 mar. 2019], Disponível em:
<https://cleantechnica.com/2018/03/10/electric-car-myth-buster-efficiency/>
- [4] AUTOSPORT - **Mercedes engine hits remarkable efficiency target on dyno**, [Consultado a: 14 mar. 2019], Disponível em:
<https://www.autosport.com/f1/news/131772/mercedes-engine-hits-remarkable-dyno-target>
- [5] UNITED NATIONS - **68% of the world population projected to live in urban areas by 2050, says UN**, [Consultado a: 20 mar. 2019], Disponível em:
<https://www.un.org/development/desa/en/news/population/2018-revision-of-world-urbanization-prospects.html>
- [6] EUROPEAN COMMISSION - **Urban Mobility**, [Consultado a: 20 mar. 2019], Disponível em:
https://ec.europa.eu/transport/themes/urban/urban_mobility_en
- [7] UN ENVIRONMENT PROGRAMME - **Sustainable transport and air pollution**, [Consultado a: 20 mar. 2019], Disponível em:
<https://www.unenvironment.org/explore-topics/resource-efficiency/what-we-do/cities/sustainable-transport-and-air-pollution>
- [8] BLOOMBERG - **Electric Buses Are Hurting the Oil Industry**, [Consultado a: 21 mar. 2019], Disponível em:
<https://www.bloomberg.com/news/articles/2018-04-23/electric-buses-are-hurting-the-oil-industry>
- [9] CURBED - **Before Tesla: Why everyone wanted an electric car in 1905**, [Consultado a: 25 mar. 2019], Disponível em:
<https://www.curbed.com/2017/9/22/16346892/electric-car-history-fritchle>

-
- [10] autoblog - **Tesla Model S**, [Consultado a: 25 mar. 2019], Disponível em: <https://www.autoblog.com/tesla/model+s/>
- [11] NISSAN - **Nissan Leaf**, [Consultado a: 25 mar. 2019], Disponível em: <https://www.nissan.pt/veiculos/novos-veiculos/leaf.html>
- [12] LoveElectricMotorcycles.com - **Peugeot Scoot'Elec**, [Consultado a: 25 mar. 2019], Disponível em: <https://www.loveelectricmotorcycles.com/models/peugeot-scootelec/>
- [13] sapo.pt - **Husqvarna 701**, [Consultado a: 25 mar. 2019], Disponível em: https://www.sapo.pt/noticias/desporto/husqvarna-701-supermoto-de-2019-arma-mortal_5bc76c6a9ad8805d71a9fec5
- [14] iF WORLD DESIGN GUIDE - **KTM Delta**, [Consultado a: 25 mar. 2019], Disponível em: <https://ifworlddesignguide.com/entry/184888-ktm-delta>
- [15] Motor24 - **Zero Motorcycles**, [Consultado a: 25 mar. 2019], Disponível em: <https://www.motor24.pt/sites/motosport/zero-motorcycles-um-futuro-zero-emissoes/238329/>
- [16] ZAP - **Skoda lança bicicleta sem pedais**, [Consultado a: 25 mar. 2019], Disponível em: <https://zap.aeiou.pt/skoda-bicicleta-eletrica-sem-pedais-277897>
- [17] Honda - **Honda 125i**, [Consultado a: 30 mar. 2019], Disponível em: <https://www.honda.pt/motorcycles/range/scooter/sh125i/overview.html>
- [18] SuperSoco - **TC Design**, [Consultado a: 30 mar. 2019], Disponível em: <http://www.supersoco.pt/mota-eletrica/design-tc/>
- [19] Honda - **Honda VFR800F**, [Consultado a: 30 mar. 2019], Disponível em: <https://www.honda.pt/motorcycles/range/sport-touring/vfr800f-2014/overview.html>
- [20] andardemoto - **Honda CB125R Neo Sports Café**, [Consultado a: 10 set. 2019], Disponível em: <https://www.andardemoto.pt/motos-novas/p-1420/honda-cb125r-neo-sports-cafe/>
- [21] QS Motors - **E-Motorcycle Hub Motor**, [Consultado a: 10 set. 2019], Disponível em: <http://www.qs-motor.com/product/17inch-qs-5000w-in-wheel-brushless-dc-hub-motor45h-v2-type-for-electric-motorcycle/>
- [22] ELECTREK - **Electric motorcycles coming in 2019**, [Consultado a: 21 mar. 2019], Disponível em: <https://electrek.co/2018/12/28/electric-motorcycles-coming-2019/>
- [23] MULLER S, UCHANSKI M, HEDRICK K. - Estimation of the Maximum Tire-Road Friction Coefficient. (2003)
University of California.
- [24] OOMS, W. - Motorcycle Modeling and Control (2011)
Technische Universiteit Eindhoven;
-

-
- [25] FOAL, T. - **Motorcycle Handling and Chassis Design, the art and science.** 1^aed. Spain: Technical editor Cycle World magazine, (2002).
- [26] COSSALTER, V. - **Motorcycle Dynamics.**, 2^aed. (2006)
- [27] VIEIRA, C - Structural Evaluation of a Motorcycle Frame. (2014)
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- [28] SLAIMAN, H. - Structural Evaluation of a Motorcycle Frame. (2018)
Kaunas University of Technology.
- [29] SIMÕES MORAIS, J. M. - **Desenho Técnico Básico**, 26^aed. Porto Editora: Porto (2012)
- [30] COMPLETO, A. QUEIRÓS DE MELO, F. - **Introdução ao Projeto Mecânico**, Publindústria: Porto (2017)

Apêndice A

Matrizes QFD

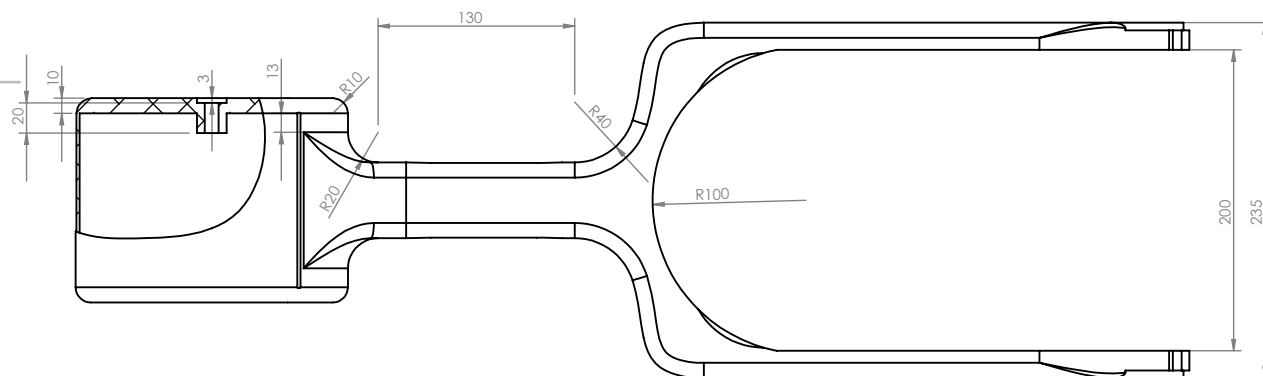
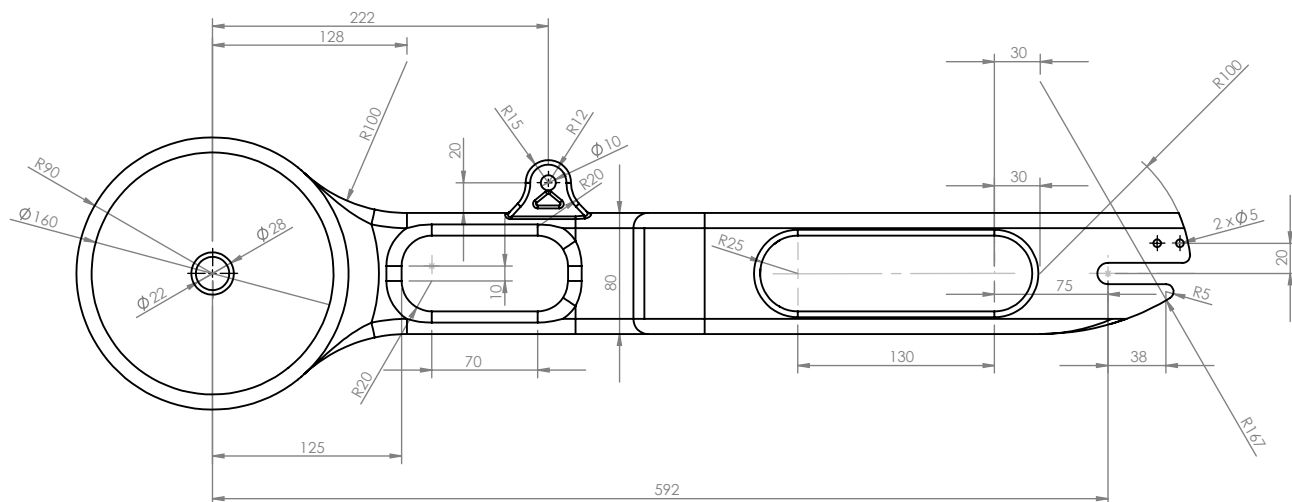
ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS		DESEMPENHO				DIMENSÕES				OUTRAS				Avaliação dos requisitos de qualidade				ATRIBUTOS DE QUALIDADE corrigidos (ID*)						
		Potência	Velocidade máxima	Autonomia	Consumo de energia	Peso	Comprimento	Altura do banco	Altura do guidador				Nº de Faróis	Volume dos compartimentos	Transmissão de potência	Localização do motor						avaliação da concorrência (M)	Avaliação estratégica de mercado (Ei)	peso relativo
COMPONENTES DO PRODUTO	IQ*	80	85	403	59	0	446	510	372			0	0	72	438	276	377	0	0	0		1,0	2,0	24%
		3	1	3	1		3	3	9	9					3	3	9				0,5	1,0	24%	
1	Quadro																							23998
2																								0
3																								0
4	Motor elétrico	9	9	9	3		3	1							9	3	9				0,5	1,0	1,5	14%
5	Baterias	9	9	9	3		9	3	3						9		3				1,0	1,0	1,0	18%
6	Sistema elétrico	3	3	9	3									3		1					1,0	1,0	1,0	5%
7																								4890
8																								0
9																								0
10	Banco						1	3	9	9				1	3									0
11	Guiador						1	9	9				1		3						1,0	1,0	1,0	10%
12	Controles	1						1	3	3			9								1,0	1,0	1,0	4%
13	Carenagens		1	1			3	3	3				9	9	3	3					1,0	2,0	1,0	15%
14																								0
15																								0
16																								0

relações	
forte	9
moderada	3
fraca	1

avaliação	
a cima da concorrência/fácil	0,5
igual à concorrência/moderado	1,0
a baixo da concorrência/difícil	1,5
muito a baixo da concorrência/muito difícil	2,0

Apêndice B

Desenhos



ISO 2768
m k
ISO 8015

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

Universidade de Aveiro

TITLE:

Escora

DWG NO.

1

A4

MATERIAL:

Alumínio 6061-T6

WEIGHT:

SCALE:1:10

SHEET 1 OF 1